

Anàlisi global de la Petjada Ecològica i la forma urbana

Projecte Final de Carrera
Llicenciatura Ciències Ambientals

Autor: Pau Morera Font

Director: Ivan Muñiz

Universitat Autònoma de Barcelona, setembre 2007

“Tot i que se sol veure com un fenomen econòmic o demogràfic, la urbanització també representa una transformació ecològica humana. Entendre el canvi dramàtic de les relacions espacials i materials humanes amb la resta de la natura és una clau cap a la sostenibilitat”.

William Rees, 1996.

Introducció

L'última edició de *La situació del món* (Informe Anual del Worldwatch Institute sobre el Progrés cap a una Societat Sostenible), de l'any 2007, porta per títol “El nostre futur urbà”. L'elecció d'aquesta temàtica no és fruit de la casualitat: en algun moment de l'any 2008 la població que viurà a les ciutats – aproximadament 3.200 milions d'éssers humans– equipararà i superarà la població rural. Això implica el desplaçament de més de 50 milions de persones que s'incorporaran a les ciutats o als seus suburbis.

Als països industrialitzats aquest *boom* urbà es va produir al llarg del segle XX, fins al punt que l'any 2005 tres de cada quatre dels seus habitants vivia en una zona urbana. Ara és l'hora dels països en vies de desenvolupament, aquells menys equipats per proveir transport, vivenda, aigua i serveis als seus ciutadans. Àsia i Àfrica, actualment rurals en més de dues tercers parts, serà mig urbana el 2025.

Sent així, què podem esperar d'un planeta urbà? Com seran les megalòpolis del futur? S'estima que l'any 2015 –un futur molt proper– ciutats com Mumbai (Índia), Dacca (Bangladesh) o Sao Paulo (Brasil) superaran el llindar dels 21 milions d'habitants. Això suposa unes taxes de creixement sorprenentment altes (l'any 2000 Dacca tenia “només” 12,5 milions de ciutadans).

D'acord amb un article recent de la National Geographic Society, el nombre de megaciutats creixerà fins a 21 per a l'any 2015 « i el nombre d'àrees urbanes amb poblacions entre 5 i 10 milions es dispararà de 7 [l'any 1950] fins a 37. Aquest creixement ocorrerà principalment als països en desenvolupament.» (*National Geographic*, Nov. 2002).

Davant aquest panorama hi ha qui se'n lamenta, considerant les ciutats i particularment les megalòpolis espais deshumanitzats on la gent que hi viu amuntegada perd la seva identitat i acaba sobrevivint en la misèria més absoluta, entre la runa i la brutícia d'espais altament contaminats. Però potser les ciutats per si mateixes no són l'origen del problema, i potser inclús en són la solució. La planificació i la gestió de les grans urbs són els pilars en els què s'ha de sostenir el segle XXI, el segle de les ciutats.

Diverses dades, segons l'informe del Worldwatch Institute, fan pensar que potser tenim una visió massa pessimista de les possibilitats reals de les ciutats. Les projeccions demogràfiques basades en els alts índexs de natalitat de fa 20 o 30 anys, per exemple, no s'han complert, el que ens dóna una perspectiva més encoratjadora del creixement de les ciutats en les pròximes dècades. De la mateixa manera, la irrupció de les energies renovables, automòbils menys contaminants, noves formes de transport públic i unes tecnologies de comunicació –telefonía mòbil, internet– que redueixen la necessitat de viatjar estan afeblint la imatge caòtica que es predeia per als grans centres urbans. L'evolució de la tecnologia ofereix noves perspectives a totes les ciutats, sigui quina sigui la seva mida o forma.

Les ciutats s'han convertit en nuclis de riquesa, on es genera la major part de la renda d'un país i es concentra la major part de la seva població. Un exemple ben clar, la ciutat de Bangkok, que conté el 12% de la població de Tailàndia, produeix el 40% del seu Producte Interior Brut (PIB).

Les activitats humanes depenen de l'abastiment de recursos, l'absorció de residus i altres serveis essencials per a la vida que tan sols la Natura pot proveir. Cada un d'aquests serveis requereix una certa àrea –d'aigua i/o de terra–. Gràcies a això podem calcular quina superfície total és necessària per a mantenir aquestes activitats humanes, la «Petjada Ecològica» és la suma de totes aquestes àrees, un càlcul de superfície. Actualment, aquesta superfície que necessitem per mantenir els nostres nivells de consum ja és més gran que la superfície del planeta, és a dir que estem liquidant el capital natural.

En aquest estudi mirarem de comprendre com incideixen els diferents factors urbans en la mesura de la Petjada Ecològica, quins tenen més pes sobre ella i com s'influeixen mútuament.

Més que en cap altre època històrica, el futur de la humanitat, de la nostra economia i del planeta que ens manté es determinarà a les ciutats.

Marc conceptual i context

1. Petjada ecològica¹: definició

L'any 1996, Mathis Wackernagel i William Rees van definir la Petjada Ecològica com **l'àrea ecològicament productiva que es requereix per satisfer el nostre estil de vida actual de manera indefinida, independentment de la localització d'aquesta àrea**. És una eina que ens permet mesurar i analitzar quanta terra –i aigua– ecològicament productiva utilitza un individu, una ciutat, una regió o la humanitat per produir els recursos que consumeix i absorbir els residus que genera, en un moment o període concret. D'aquesta manera, per tant, ofereix una imatge aproximada de la relació existent entre una població, el seu consum de recursos i l'alteració de condicions de l'entorn, i la seva capacitat de càrrega límit².

El mètode de càlcul de la petjada proposat per aquests dos autors parteix de l'assumpció que cada unitat de matèria o d'energia consumida requereix una certa quantitat de territori per tal de proveir recursos per al consum o tractar els residus que es generen. És per això que a l'hora de calcular aquest indicador s'estima l'àrea de territori necessària per a la producció de cada element de consum per persona. Aquesta àrea s'obté en dividir el consum anual mitjà de cada un d'aquests elements (*kg/habitant*) per la productivitat anual mitjana (*kg/ha*).

La Petjada Ecològica (a partir d'ara PE) s'expressa en unitats de **hectàrees globals (gha)**. Una hectàrea global és una hectàrea normalitzada per a contenir la mitjana mundial de la productivitat de tota la terra i aigua ecològicament productiva per a un any donat. La superfície del planeta és aproximadament de 51 bilions

¹ A l'Annex I hem disposat una llista d'uns 150 països del món amb la seva corresponent Petjada Ecològica.

² La **capacitat de càrrega límit** d'un sistema (un determinat entorn, territori, etc.) s'ha d'entendre com la capacitat màxima que té aquest d'assumir una població, o poblacions de diferents espècies, de tal manera que es garanteixi la seva permanència com a espècie o espècies. En el cas de la població humana, seria equivalent a la màxima població que el planeta pugui contenir sense impedir la seva reproducció com a espècie (sense precisar, però, les condicions de vida d'aquesta població). (Mayor, 2005)

d'hectàrees (ha). L'any 2003 els oceans i els mars (excepte les zones litorals molt més productives) ocupaven prop de 35 bilions d'ha, i de la superfície restant 2,8 bilions corresponien a les regions polars i 2 bilions a zones desèrtiques o semidesèrtiques. És a dir, que la biosfera tenia 11,2 bilions d'hectàrees ecològicament productives, aproximadament una cinquena part de la superfície del planeta. D'aquestes, 2,4 bilions d'ha. corresponen a aigües poc profundes i interiors, 1,5 bilions a terres de cultiu, 3,4 bilions a zones de pastura, 3,7 bilions a superfície forestal i **0,2 bilions d'hectàrees de sòl urbanitzat**.

Si la PE és una eina per mesurar l'impacte de la demanda humana de recursos del planeta, la biocapacitat³ n'és l'oferta. La biocapacitat global disponible per persona es calcula dividint els 11,2 bilions d'hectàrees globals de terra ecològicament productiva pel nombre d'habitants del planeta (6,3 milions l'any 2003). Aquesta raó dona una biocapacitat mitjana disponible al planeta per persona d'1,78 gha. És a dir, que de mitjana cada un de nosaltres hauria d'"utilitzar" com a màxim 1,78 gha. Segons els càlculs globals de Petjada Ecològica i biocapacitat de 2003 de l'*Informe Planeta Viu 2006* (WWF, 2006), l'any 2003 cada ésser humà tenia –de mitjana– una PE de 2,23 gha, un 20% més del que ens pot oferir la Terra.

La PE també es pot expressar en nombre de planetes representatius de la capacitat biològica de la Terra per un any determinat. Mantenint constants els nivells de consum de l'any 2003, la humanitat necessitaria 1,2 planetes per a mantenir de forma sostenible els estils de vida actuals. Però de planeta Terra només n'hi ha un.

³ La **biocapacitat** (o capacitat biològica) és la capacitat dels ecosistemes de produir matèries primeres i absorbir els materials de rebuig generats pels humans en un període concret. En aquests càlculs simplificats no tenim en compte les necessitats de les altres espècies.

2. Petjada Ecològica: metodologia de càlcul

El càlcul de la Petjada Ecològica es basa en l'estimació de la superfície (en gha) necessària per a satisfer els consums associats a l'alimentació, als productes forestals, a la despesa energètica i a l'ocupació directa del terreny.

Així, els territoris productius que es consideren per als càlculs són: cultius, zones de pastura, superfícies forestals –que es trobin en explotació–, zones pesqueres, assentaments humans i infraestructures –incloent plantes hidroelèctriques–, àrees d'absorció de CO₂ (*Energy Land*), i energia nuclear⁴.

Per a calcular aquestes superfícies, la metodologia es basa en dos aspectes bàsics:

- Comptabilitzar el consum de les diferents categories en unitats físiques.
- Transformar aquests consums en superfície ecològicament productiva apropiada mitjançant índexs de productivitat.

Degut a la inexistència, en general, de dades directes de consum, s'estimen els consums per a cada producte mitjançant la següent expressió:

$$\text{CONSUM} = \text{PRODUCCIÓ} - \text{EXPORTACIÓ} + \text{IMPORTACIÓ}$$

En el cas de l'absorció de CO₂ s'opera directament amb consums, dels que sí se'n té informació.

Com que no tots els sòls ni tots els mars són iguals, s'utilitzen factors de rendiment (Taula1) per a cada país, que el comparen amb la mitja mundial, i factors d'equivalència (Taula2) per tenir en compte les diferències en els

⁴ La demanda sobre la biocapacitat associada a l'ús de l'energia nuclear és difícil de quantificar, en part perquè les preguntes d'investigació que sustenten la Petjada no consideren molts dels seus impactes. En vista de la manca d'informació concloent, se suposa que la petjada de l'electricitat nuclear sigui la mateixa que la quantitat equivalent d'electricitat provinent de combustibles fòssils. Actualment, la petjada de l'electricitat nuclear representa menys del 4% de la Petjada Ecològica global. (Hails, 2006).

promitjos mundials de productivitat entre els diferents tipus de paisatge (Hails, 2006).

| | cultius | bosc | terres de pastura | zones pesqueres |
|--------------|------------|------------|----------------------|--------------------|
| <i>Món</i> | <i>1,0</i> | <i>1,0</i> | <i>1,0</i> | <i>1,0</i> |
| Algèria | 0,6 | 0,0 | 0,7 | 0,8 |
| Guatemala | 1,0 | 1,4 | 2,9 | 0,2 |
| Hongria | 1,1 | 2,9 | 1,9 | 1,0 |
| Japó | 1,5 | 1,6 | 2,2 | 1,4 |
| Jordània | 1,0 | 0,0 | 0,4 | 0,8 |
| Nova Zelanda | 2,2 | 2,5 | 2,5 | 0,2 |
| RPD Laos | 0,8 | 0,2 | 2,7 | 1,0 |
| Zàmbia | 0,5 | 0,3 | 1,5 | 1,0 |

Taula1: factors de rendiment per a països seleccionats, any 2003 (font: Hails, 2006)

| | <i>hag/ha</i> |
|------------------------------|---------------|
| Principals sòls agrícoles | 2,21 |
| Sòls agrícoles marginals | 1,79 |
| Bosc | 1,34 |
| Terres de pastura permanents | 0,49 |
| Aigües marines | 0,36 |
| Aigües continentals | 0,36 |
| Assentaments humans | 2,21 |

Taula2: factors d'equivalència, any 2003 (font: Hails, 2006)

Els valors de productivitat poden estar referits a escala global, o bé, es poden calcular específicament per a un determinat territori tenint en compte la tecnologia utilitzada i el rendiment del sòl.

Tot i ser l'índex mediambiental més complet que hi ha a dia d'avui, encara té algunes mancances. Hi ha certs consums que no queden comptabilitzats en l'anàlisi de la PE; d'una banda aquells materials per als quals la biosfera no té una capacitat d'assimilació significativa –plutoni, PCB, dioxines, i altres contaminants persistents– o processos que danyen les capacitats futures de la biosfera –espècies en extinció, salinització i erosió de les terres de cultiu⁵–. De forma similar, no té en compte l'ús d'aigua dolça ni la seva disponibilitat, car no és per si mateixa un bé o un servei produït biològicament –tot i que la pèrdua de biocapacitat associada al consum d'aigua es veu reflectida en el decreixement de la biocapacitat global–, així com tampoc contempla altres gasos d'efecte hivernacle (GEH) que no siguin el diòxid de carboni, ja que el coneixement científic de l'impacte d'aquests gasos encara és incomplet, ni altres impactes com la contaminació atmosfèrica, del sòl o de les aigües, l'erosió o la pèrdua de productivitat. (Global Footprint Network, 2006)

El mètode d'anàlisi de la PE està en continu desenvolupament i recentment s'ha introduït una versió (2.0) que reserva una porció de biocapacitat per a altres espècies, assumeix canvis en les xifres per al segrest de carboni i introdueix factors de productivitat primària neta (NPP) com a base equivalent de la Petjada. En un futur s'espera introduir a l'anàlisi la producció de GEH així com altres substàncies tòxiques i models de consum d'aigua per establir criteris de sostenibilitat en la indústria pesquera, boscos i aigua. (Venetoulis i Talberth, 2005)

⁵ Tot i que les conseqüències d'aquestes activitats es veuran reflectides en càlculs futurs de la PE com a disminució de la biocapacitat.

3. Estimació de la PE de les ciutats

“Les ciutats representen la forma més concreta de la relació entre la societat i el medi ambient” (Hahn, 1994).

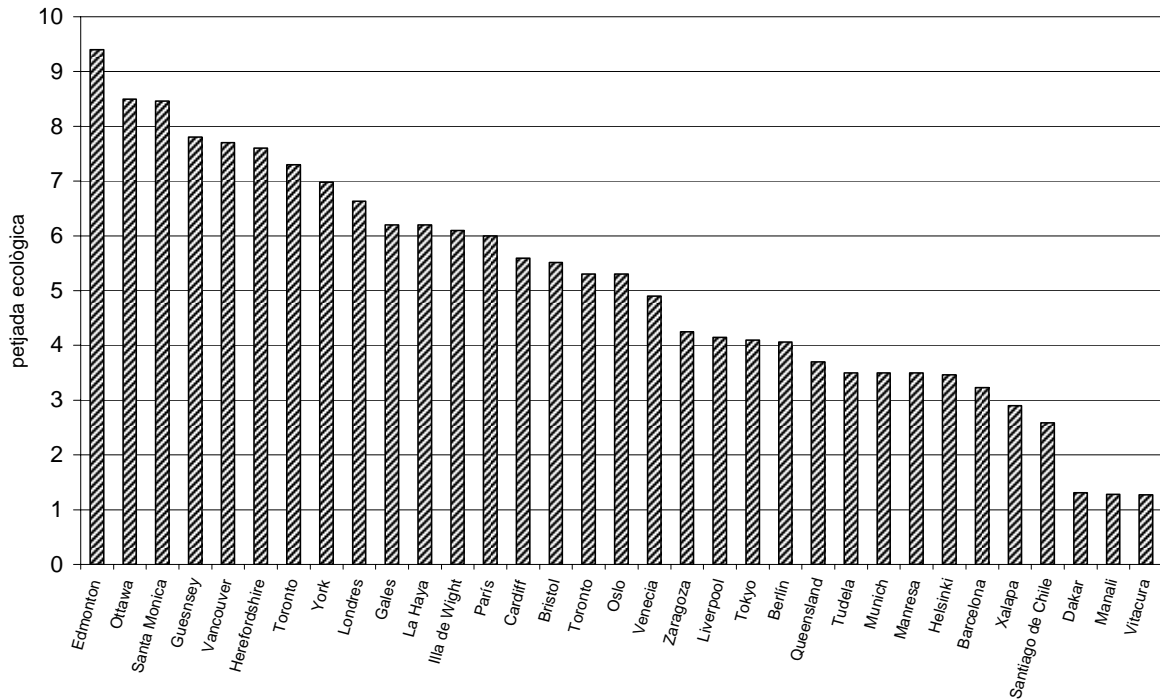
Segons fonts de l'ONU, l'any 2005 el 74,1% dels habitants dels països industrialitzats i el 42% en països en desenvolupament vivien en àrees urbanes. I les taxes de variació anuals dels últims 50 anys indiquen que aquests percentatges seguiran augmentant, i més ràpidament en els països “pobres”, inclús fins a igualar-se abans de l'any 2100. Les ciutats són, doncs, l'ambient més important a estudiar quan ens referim a poblacions humanes.

Actualment encara hi ha ben poques ciutats que hagin intentat mesurar la seva PE, però cada cop en són més. En el moment de fer aquest estudi hem pogut recollir dades de Petjada de 33 ciutats d'arreu del món, lamentablement la gran majoria de països industrialitzats –sobretot de Regne Unit, Canadà i EEUU; també de Noruega, Països Baixos, Itàlia, Alemanya, Suècia, Espanya i el Japó–. Dels països en vies de desenvolupament hem trobat dades de Xalapa (Mèxic), Dakar (Senegal), Manali (Índia), Santiago de Chile i Vitacura (Xile).

Si ordenem aquestes ciutats en base a la seva PE *per càpita* (Gràfic1) ens adonem, primer de tot, que les situades en països en desenvolupament són les que tenen una Petjada menor. Veiem, per tant, que el nivell econòmic d'una regió –ciutat, país– és un factor clau en el seu impacte sobre el medi. Ara bé, com pot ser que una ciutat com Barcelona (2,3 gha) tingui una petjada menor que, per citar exemples propers, Manresa o Saragossa (3,5 i 4,2, respectivament)?

Poden haver-hi diverses raons, la més important de les quals és que encara no existeix un sistema estàndard pel càlcul de la PE a nivells inferiors al territori nacional. Una altra raó, que com veurem més endavant en aquest treball té una gran incidència, és la densitat urbana d'aquestes ciutats. Saragossa té la menor densitat de les tres (630 hab/km²) –amb dades de l'any 2006–, Manresa és una

mica més densa (1.688 hab/km²) i Barcelona ho és molt més encara (15.992 hab/km²). A major densitat, més recursos i serveis es comparteixen, i el volum de transport es redueix. Com veurem tot seguit, el transport és, precisament, un sector clau en el càlcul de la PE.



Gràfic1: PE de diverses ciutats (diverses fonts)

4. PE i forma urbana

Quina relació pot tenir un indicador de l'impacte de l'espècie humana sobre el medi ambient, amb la forma que adopten les seves poblacions? En acabar l'apartat anterior hem fet una primera ullada a aquesta qüestió: a major densitat, més recursos i serveis es comparteixen. Òbviament, pel simple fet de viure més junts no ens alimentarem menys o farem servir menys aigua per rentar la roba, llavors quins són aquests recursos que, compartint, podem minimitzar? Bàsicament, el consum energètic i el sòl urbanitzat.

Vegem-ho amb un exemple pràctic. Considerem una urbanització residencial de baixa densitat, de cases unifamiliars, on hi viuen vint famílies. Suposem que totes, de cop, van a comprar al mateix mercat, situat a uns dos quilòmetres de la població. Degut a la distància que els separa del mercat, totes les famílies hi van en cotxe, de manera que es produeixen 20 desplaçaments d'anada i 20 de tornada entre la població i el mercat. En total s'hauran desplaçat 80 km (20 cotxes x 2 viatges x 2 km) amb el seu conseqüent cost energètic i ambiental. Suposem ara el mateix cas però en un nucli urbà dens, en què les 20 famílies viuen en un mateix edifici i en què el mercat es troba ara molt més proper, posem 300 metres. En aquesta situació, si tots es desplaçessin també en automòbil, la suma de desplaçaments es reduiria considerablement (20 cotxes x 2 viatges x 0,3 km = 12 km), així com el consum de combustible i les emissions associades. Però no només això, en estar el mercat molt més proper, algunes famílies optarien per anar a comprar a peu, o en bicicleta, reduint encara més l'impacte, reduint la Petjada. I en termes de sòl urbanitzat, és clar que la superfície que ocupen 20 edificis unifamiliars és clarament superior al d'un sol edifici de pisos; o el que és el mateix, en l'espai que ocupen 20 persones a la urbanització hi podrien cabre 20 edificis de pisos de 20 famílies cadascun.

Aquest exemple, molt simple d'altra banda, pretén il·lustrar de quina manera l'augment de densitat permet disminuir el consum global d'energia. Tot i que

afecta a la majoria de consums energètics, hem volgut utilitzar el cas del transport perquè és el més gràfic a l'hora de relacionar-lo –mitjançant les emissions de diòxid de carboni– amb la PE.

Segons diverses fonts consultades el transport representa entre el 20% i el 25% de les emissions totals de CO₂ –i és l'emissor principal d'altres gasos–, que tenen un pes decisiu en el valor resultant de la Petjada. L'any 2003 les emissions de diòxid de carboni representaven pràcticament la meitat del valor de la PE del món, i als països d'Amèrica del Nord –EEUU i Canadà– aquest percentatge gairebé assolía el 60%. La forma de les ciutats, doncs, és determinant en aquest sentit. Com també ho és la seva gestió; consumeixen molta menys energia –i emeten menys CO₂– cent persones que poden anar a la feina en tren, o en autobús, que cent que ho han de fer en cotxe.

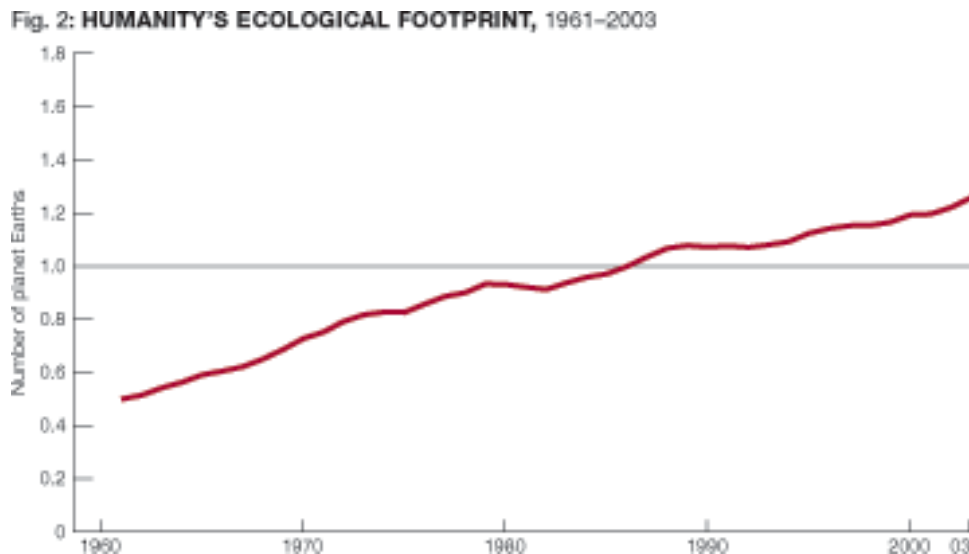
Augmentar els nivells d'eficiència energètica sembla, per tant, imprescindible, i la millor solució –si va acompanyada d'altres mesures de reducció– per reduir la PE global. Alhora, una reducció de les emissions de CO₂ també reduiria els problemes de pol·lució de les grans ciutats, perjudicials per a la salut humana.

Actualment encara hi ha pocs estudis que relacionin la Petjada Ecològica i la forma urbana, i els que hi ha són d'abast local o regional (Muñiz, 2005; Satterthwaite, 1997, Haughton, 1998), però sí que està més estudiada la interacció entre forma urbana i consum d'energia. En són exemples els treballs de Rees i Wackernagel (1996), Newman i Kenworthy (1991)⁶, Hahn (1994), Rueda (1997), Larivière (1999) o Camagni (2002).

⁶ *Cities and automobile dependence: An international sourcebook*. Estudi que demostra que la densitat urbana és certament un factor explicatiu dominant per entendre el consum d'energia de les ciutats.

5. Increment Petjada Ecològica: preocupacions futures

Segons dades de les Nacions Unides, la població humana mundial, que actualment és d'uns 6,7 milers de milions, podria arribar als 9 mil milions abans de l'any 2050. Això suposa una taxa de creixement alarmant en un món en què cada cop més es qüestiona la capacitat del planeta de mantenir els nostres ritmes de consum. A mida que augmenta la població mundial també ho fa en proporció la PE global, però la biocapacitat no augmenta al mateix ritme (Gràfic2), es manté aproximadament constant.



Gràfic2: Petjada Ecològica global – biocapacitat (font: Hails, 2006)

Continuant en la mateixa trajectòria, inclús les projeccions més optimistes (increments moderats en la població, el consum d'aliments i les emissions de CO₂) suggereixen que l'any 2050 la humanitat demandarà recursos al doble de la taxa a la què la Terra els pot generar. Aquest grau d'excés posa en risc no tan sols la pèrdua de la biodiversitat, sinó que també danya els ecosistemes i la seva habilitat de proveir els recursos i els serveis dels quals depèn la humanitat.

L'alternativa és eliminar l'excés de Petjada global, però això suposa –inclús disminuint la taxa de creixement de la població mundial– un canvi dràstic en els nivells de consum, principalment de combustibles fòssils, en els que es basa la nostra economia actual.

- El paper de les ciutats

L'any 1950 tan sols hi havia una megalòpolis al planeta, és a dir una ciutat amb una població superior als 10 milions d'habitants –Nova York–. Segons la divisió de població de l'ONU, l'any 2015 hi haurà 21 megalòpolis, i el nombre d'àrees urbanes amb censos d'entre 5 i 10 milions es dispararà de 7 a 37. Aquest creixement es produirà sobretot en països en vies de desenvolupament, és a dir, els que estan pitjor equipats per a proporcionar als seus ciutadans transport, vivenda, aigua i clavegueram. Àsia i Àfrica, ara rurals en dues terceres parts, seran mig urbanes l'any 2025, i les majors ciutats del planeta seran, amb tota probabilitat, Tokyo (Japó), Dacca (Bangladesh), Bombay (Índia), Sao Paulo (Brasil) i Delhi (Índia). Mai s'han estès tan de pressa les poblacions metropolitanes.

D'una banda, això pot ser bo, en el sentit que a les àrees urbanes es genera entre el 50% i el 80% del Producte Interior Brut (PIB) de gairebé tots els països del món, i de cara a minimitzar el creixement de la PE sembla d'entrada la millor opció, però la qualitat de vida de la immensa majoria de gent del futur estarà determinada per la qualitat d'aquestes ciutats.

Procediment i metodologia

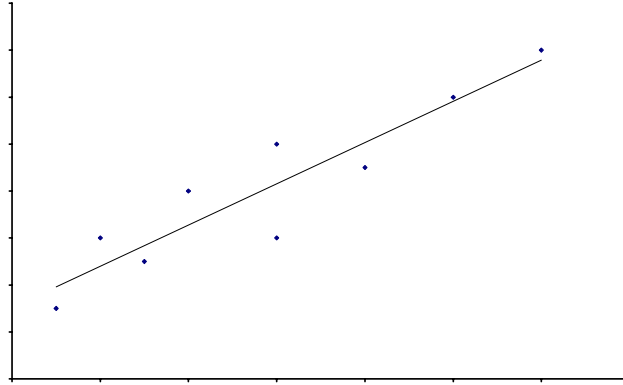
L'anàlisi de tots els factors relacionats amb la PE i la forma urbana és complex; no tan sols pel volum de dades a tractar, sinó per les imbricades relacions entre aquestes, molt més estretes del què hom pot pensar a primer cop d'ull. Per a poder-les tractar de manera que resultin el més clares i entenedores possible les estudiarem pas a pas, des de la simple comparació entre dos valors fins a l'anàlisi de matrius de correlació entre tots els factors.

Primer exposarem aquells elements que hem considerat tenir en compte i la raó per la qual els hem inclòs⁷. Aquests factors influencien en major o menor grau, directa o indirectament, la PE, i l'objectiu d'aquest estudi serà trobar com són aquestes influències.

Un cop presentades les dades, procedirem a relacionar-les amb la Petjada Ecològica *per càpita* (PEpc), una a una, elaborant gràfics de dispersió d'eixos x-y, i mitjançant el mètode dels mínims quadrats ordinaris obtindrem una corba de regressió que s'ajustarà al màxim a la tendència que tindran les dades comparades⁸. Aquest mètode ens permetrà obtenir una primera representació gràfica del comportament de cada factor amb la PEpc (gràfic3) i ens ajudarà a veure quina influència hi té cada element per si sol, deixant de banda de moment la pressió dels altres components.

⁷ Veure *Dades*.

⁸ De totes les corbes que aproxima un conjunt donat de dades, la que té la propietat que la suma de desviacions de cada valor respecte la corba deduïda sigui mínima s'anomena corba d'ajust òptim, o *corba de mínims quadrats*.



Gràfic3: gràfic x-y amb corba de regressió (exemple)

Posteriorment i seguint el mateix sistema, iterarem el procés comparant els diferents factors entre ells, a part de la PEpc, buscant així la forma com es relacionen mútuament. Trobar una influència clara entre dos o més d'aquests elements ens podria indicar quins d'ells afecten la PE de forma indirecta, i s'haurà de tenir molt en compte a l'hora d'extreure'n conclusions.

Fins ara hem treballat amb parelles de dades, enfrontant un element amb un altre "cara a cara". El següent pas del nostre estudi serà l'observació del comportament de diversos elements alhora, entre ells i amb la PEpc. Mitjançant estudis de regressions i les seves corresponents matrius de correlació creuarem totes o part de les dades, amb la finalitat d'obtenir una aproximació més realista al nostre objectiu d'estudi.

Fer un anàlisi de regressió no és més que utilitzar també el mètode dels mínims quadrats, però en aquest cas aplicat a moltes variables, no tan sols a dues. En aquest cas, una possible representació gràfica dels resultats en eixos no ens resultaria útil, ja que seria bastament complexa. És més pràctic, i és tal com ho exposarem en aquest treball, observar-ho en forma de taula.

Si observem la taula de resultats d'un anàlisi de regressió de quatre factors (Taula3)⁹ ens pot donar sensació de mareig: coeficients, errors estadístics, probabilitats, ajustos, criteris... però de tots aquests termes tan sols en farem una especial atenció a tres: el coeficient, el *t*-estadístic o *t* de Student, i la R-quadrat (R^2) (Taula4).

| Variable | Coefficient | Std. Error | t-Statistic | Prob. |
|--------------------|-------------|-----------------------|-------------|--------|
| C | -1.403519 | 1.144110 | -1.226734 | 0.2232 |
| LOG(DENS_CIUTATS) | -0.321438 | 0.093235 | -3.833108 | 0.0017 |
| LOG(POBURB_97) | 0.217420 | 0.109282 | 1.989541 | 0.0497 |
| LOG(PIB_1997) | 0.402705 | 0.071712 | 5.615567 | 0.0000 |
| LOG(LATITUD) | 0.108059 | 0.039497 | 2.735884 | 0.0075 |
| R-squared | 0.851992 | Mean dependent var | 0.622759 | |
| Adjusted R-squared | 0.845265 | S.D. dependent var | 0.811715 | |
| S.E. of regression | 0.319299 | Akaike info criterion | 0.606889 | |
| Sum squared resid | 8.971780 | Schwarz criterion | 0.743050 | |
| Log likelihood | -23.22032 | F-statistic | 126.6410 | |
| Durbin-Watson stat | 1.994283 | Prob(F-statistic) | 0.000000 | |

Taula3: estudi de regressió (exemple)

⁹ Els càlculs estadístics d'anàlisi de regressions, així com les matrius de correlació, han estat elaborats mitjançant el programa informàtic eViews.

| | |
|----------------|-------------------|
| C | -1.403 (-1.22) |
| variable 1 | -0.321 (-3.83) |
| variable 2 | 0.217 (1.98) |
| variable 3 | 0.402 (5.61) |
| variable 4 | 0.108 (2.73) |
| R ² | 0.852 |

Taula4: estudi de regressió (exemple, simplificat)

D'on surten tots aquests valors i quin significat tenen? Els models de regressió tenen una equació de la forma

$$y = c + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (\text{equació 1})$$

on y és la variable dependent, en el nostre cas la Petjada Ecològica, x la variable independent –les dades que ja coneixem per a cada factor–, β el coeficient de cada dada –el “pes” que té cada x sobre el resultat final de y –, i c una constant.

A la nostra taula, els coeficients (β) estan representats sense parèntesi. Com més grans són, major és el pes que tindrà la seva variable sobre la PE. El signe ens indica en quina direcció es comporta la variable: si és positiu, com major sigui la variable, major serà la PE; si és negatiu es produirà la situació inversa, a major variable, menor PE.

Els valors entre parèntesi representen la distribució t de Student de cada variable:

$$t = (y - \eta) / s \quad (\text{equació 2})$$

on η és la mitjana de les observacions ($\eta = \Sigma y/N$, on N és el nombre d'observacions) i s la desviació típica de la mostra.

Aquest valor de la distribució ens ve a dir com de properes –o llunyanes– estan les dades respecte la tendència que mostra el conjunt. Generalment es considera una distribució de les dades acceptable quan $t \geq 2$.

El valor R-quadrat, o ajust, ens mostra com el conjunt de valors s'apropa a la tendència ideal. És un valor entre 0 i 1; com més proper a 1 es trobi més clara serà la tendència dels valors, i per tant més significatius els resultats.

Hi ha un element determinant a l'hora d'explorar els resultats obtinguts en una taula d'aquestes característiques. No podem oblidar que estem parlant de dades socioeconòmiques, demogràfiques o físiques, i totes elles són mútuament dependents les unes de les altres¹⁰. Per tant, si les tenim totes en consideració o si n'obviem alguna, els resultats variaran en major o menor mesura. Com que no estem segurs de quines són més depenents, aquelles que afectaran a la PE de manera més indirecta, repetirem el procés de l'anàlisi de regressió que haurem fet primer per a totes les variables, prenent grups de variables i ignorant-ne la resta (Taula5). Fent això, i junt amb les matrius de correlació que comentarem més endavant, podrem tenir una idea més clara de com es relacionen entre elles les variables, i de quina manera, directa o indirecta, afecten la PE. Els valors de les variables es calculen utilitzant el logaritme de les dades per aconseguir una solució més acurada, però fer-ho no en varia el resultat.

¹⁰ És lògic pensar que l'economia o la demografia d'un país depenen de la seva climatologia (oscil·lació tèrmica, pluviositat anual, etc.), però no ho és tant que els fenòmens físics climàtics depenguin de factors antropològics. Tot i que no queda reflectit en aquest treball, fenòmens com el canvi climàtic –tant “de moda” actualment– són en part conseqüència directa de l'acció humana, i ens vénen a demostrar que, a la Natura, tot està interconnectat.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| C | -1.403 (-1.22) | -4.606 (-16.63) | 2.708 (3.04) | 1.799 (2.13) | -1.353 (-1.68) |
| variable 1 | -0.321 (-3.83) | | -0.619 (-8.00) | -0.537 (-7.30) | -0.284 (-4.25) |
| variable 2 | 0.217 (1.98) | | 0.812 (8.20) | 0.709 (7.54) | |
| variable 3 | 0.402 (5.61) | 0.575 (15.26) | | | 0.481 (11.73) |
| variable 4 | 0.108 (2.73) | 0.116 (2.57) | | 0.218 (4.26) | 0.204 (2.52) |
| R ² | 0.800 | 0.812 | 0.708 | 0.757 | 0.843 |

Taula5: estudi de regressió (exemple). Cinc anàlisi; amb variables ignorades (fons gris).

Les matrius de correlació (Taula6) ens donen idea de com s'influencien unes variables amb unes altres. Aquesta relació ve donada per un valor entre 0 i 1, on 1 és una correlació total, i 0 una nul·la relació. Per tant, com més proper a 1 sigui el valor d'una cel·la de la matriu, major serà la relació entre les dues variables que la defineixen. Aquests valors s'han d'observar amb cura, ja que la influència sobre un factor pot venir donada no només per una altra variable, sinó per dues o més¹¹.

La matriu també pot incloure la variable dependent, la PE.

¹¹ Una de les dificultats més generals amb què es pot trobar un investigador és la confusió entre correlació i causalitat. La correlació entre dues variables Y i X es dona sovint perquè ambdues estan associades a un tercer factor W.

| LOG | variable 1 | variable 2 | variable 3 | variable 4 |
|------------|------------|------------|------------|------------|
| variable 1 | 1.000000 | 0.893421 | 0.707471 | -0.699937 |
| variable 2 | 0.893421 | 1.000000 | 0.744550 | -0.620474 |
| variable 3 | 0.707471 | 0.744550 | 1.000000 | -0.398771 |
| variable 4 | -0.699937 | -0.620474 | -0.398771 | 1.000000 |

Taula6: matriu de correlació (exemple).

Arribats a aquest punt, és obligada la pregunta. Com evolucionen aquestes relacions en el temps? Fins ara haurem analitzat valors corresponents a un any determinat, estàtics, que ens mostren una situació puntual o marginal. Però la renda, el percentatge de població urbana d'un país o la densitat urbana d'una ciutat són elements dinàmics, canviant amb el temps. Per això, per a comprendre millor com varien aquests valors i les seves interrelacions amb el pas dels anys, modificarem l'anàlisi de regressions substituint aquells valors que demostren diferències significatives en anys diferents. Això ens permetrà no tan sols estudiar com evoluciona el pes de cada factor en la PEpc, sinó potser fins i tot ens permetrà formular hipòtesis del seu comportament futur.

En l'anàlisi dinàmica afegirem una nova variable que estudiarem per separat, la població total. Com veurem, la PE d'un país depèn directament de la mida de la seva població i de l'impacte individual dels seus habitants,

$$PEpc * Població = PE total \quad \text{(equació 3)}$$

de manera que per al càlcul marginal de la PE ens resulta suficient un simple producte entre dues dades. Ara bé, "PEpc" i "Població" són ambdues variables dinàmiques; com sabem, per una PE i un període de temps qualsevol, quin dels dos factors ha estat més determinant?

Suposem que, de la nostra llista de països, tenim les dades de població i de PE_{pc} de l'any 1980 i les actuals del 2007. Les anomenem Pob80, Pob07, PE80 i PE07¹². A partir d'elles trobem els increments:

$$\Delta Pob = Pob07 - Pob80$$

$$\Delta PE = PE07 - PE80$$

Un cop tenim les dades, procedim de la següent manera amb tots i cadascun dels països:

(A) Calculem $Pob80 * \Delta PE$

(B) Calculem $PE80 * \Delta Pob$

(C) Calculem $\Delta Pob * \Delta PE$

Obtenim així tres dades que per si soles no ens aporten gran informació, però que ens són molt útils per a classificar els països en un rànquing.

El resultat de (A) ens diu com ha variat la PE_{pc} en base a la població que tenia el país a l'inici del període estudiat. Com que Pob80 és positiu i major que zero, el signe del valor resultant –positiu o negatiu– ens indica que la PE_{pc} en aquest període ha augmentat o disminuït, respectivament.

De la mateixa manera (B) mostra com ha variat la població de cada país, ponderada en base a la PE_{pc} de 1980. El signe, en aquest cas, ens indica l'augment o disminució de la població.

L'últim càlcul, (C), és una visió més complexa, ja que ambdós factors són increments. El valor resultant ens indica com han variat la població i la Petjada al llarg del període estudiat. A valors més grans, major variació conjunta¹³. Els valors positius mostren un increment directe, major (menor) nombre d'habitants i major

¹² PE80 i PE07 fan referència a les Petjades *per càpita*. No ho especifiquem per simplificar la nomenclatura.

¹³ És una magnitud. No determina quin dels dos varia més, ni tampoc si han crescut o disminuït.

(menor) PE_{pc} , mentre que els negatius són senyal de creixements inversos, en què una variable ha augmentat i l'altra ha disminuït.

Mesurem ara la variació total, és a dir la suma de tots tres resultats, en valor absolut¹⁴;

$$\Delta_{total} = |A| + |B| + |C| \quad (\text{equació 6})$$

I calculem, per a cada país, el percentatge (%) que representa cada un dels tres factors sobre la variació total en aquest període.

$$\% = [(A), (B) \text{ o } (C)] * 100 / \Delta_{total} \quad (\text{equació 7})$$

D'aquesta manera obtenim el “pes” de cada factor sobre la variació total i podem veure, per a cada país, quina variable ha estat més influent en el període estudiat, l'increment de PE_{pc} , l'increment de població o tots dos alhora. Però no en tenim prou si el que ens interessa és fer una comparativa entre països. Per a poder-ho fer –i representar-ho gràficament– hem d'anar una mica més enllà.

| País | (A) | (%) | (B) | (%) | (C) | (%) | Δ total |
|---------|-------|------|------|------|------|-----|----------------|
| Itàlia | 87,26 | 88,9 | 6,83 | 7,0 | 4,10 | 4,2 | 98,18 |
| Ucraïna | 67,20 | 88,3 | 6,86 | 9,0 | 2,06 | 2,7 | 76,11 |
| Geòrgia | 19,14 | 88,1 | 1,41 | 6,5 | 1,17 | 5,4 | 21,72 |
| Armènia | 9,74 | 85,8 | 0,92 | 8,1 | 0,70 | 6,1 | 11,35 |
| Romania | 12,72 | 83,5 | 2,10 | 13,8 | 0,42 | 2,8 | 15,24 |
| Àustria | 11,73 | 82,7 | 1,68 | 11,8 | 0,77 | 5,4 | 14,18 |

Taula7: taula comparativa dels valors (a), (b) i (c) (exemple).

Partint de la taula obtinguda amb els càlculs realitzats (Taula7), calculem la mitjana de cada columna de valors percentuals. En el nostre cas d'exemple, la mitjana dels “pesos” de (A) seria 86,2%, de (B) 9,4% i de (C) 4,4%. Restant-les a

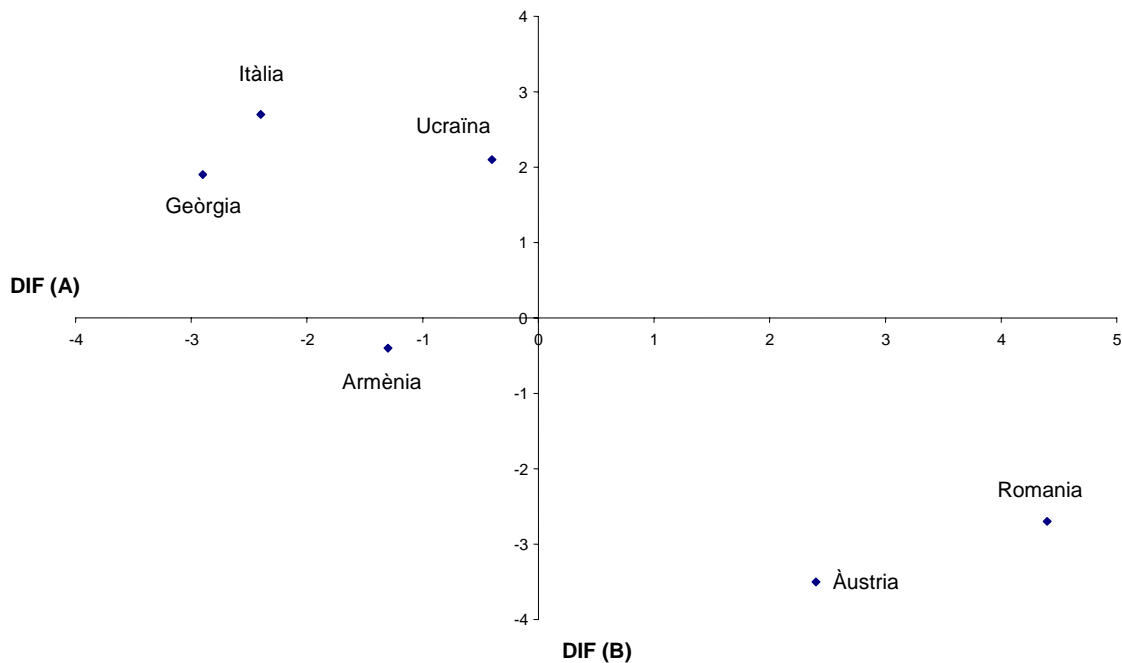
¹⁴ Recordem que el signe d'aquests resultats tan sols indica la direcció del creixement. El que ens interessa és la magnitud d'aquest valor, independentment de cap a on es dirigeix.

cada valor de les columnes que els corresponen, obtenim la diferència de magnitud (DIF) de cada factor respecte la mitja dels països.

| País | (A) | (%) | DIF | (B) | (%) | DIF | (C) | (%) | DIF | Δ total |
|---------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----------------|
| Itàlia | 87.26 | 88.9 | 2.7 | 6.83 | 7 | -2.4 | 4.1 | 4.2 | -0.2 | 98.18 |
| Ucraïna | 67.2 | 88.3 | 2.1 | 6.86 | 9 | -0.4 | 2.06 | 2.7 | -1.7 | 76.11 |
| Geòrgia | 19.14 | 88.1 | 1.9 | 1.41 | 6.5 | -2.9 | 1.17 | 5.4 | 1 | 21.72 |
| Armènia | 9.74 | 85.8 | -0.4 | 0.92 | 8.1 | -1.3 | 0.7 | 6.1 | 1.7 | 11.35 |
| Romania | 12.72 | 83.5 | -2.7 | 2.1 | 13.8 | 4.4 | 0.42 | 2.8 | -1.6 | 15.24 |
| Àustria | 11.73 | 82.7 | -3.5 | 1.68 | 11.8 | 2.4 | 0.77 | 5.4 | 1 | 14.18 |

Taula7b: taula comparativa dels valors (a), (b) i (c) (exemple).

Partint de la Taula 7b ja podem elaborar gràfics de dispersió d'eixos x-y (Gràfic4) que relacionin parelles de variables. Els valors que hauríem de prendre per a tal fet serien els de la diferència respecte la mitja (DIF).



Gràfic4: gràfic x-y de variables dinàmiques (exemple)

Recordem que (A) correspon al producte entre la població de l'any d'inici del període estudiat (en el nostre cas d'exemple, 1980) i l'increment de la PE_{pc} en tot el període (1980 – 2007); i (B) és el producte entre la PE_{pc} de 1980 i l'increment de població. Per tant, en aquells països situats al primer quadrant del gràfic – Geòrgia, Itàlia i Ucraïna –, la magnitud de l'increment de PE_{pc} respecte l'any 1980 ha estat major que la mitja –DIF(A) positiva–, mentre que l'increment de població ha estat menor que la mitja –DIF(B) negativa–. Podem prosseguir en l'anàlisi de manera anàloga per als altres quadrants.

Hi ha múltiples procediments i tipologies d'anàlisi tant vàlides com les aquí presentades per a realitzar un estudi d'aquestes característiques. Hem escollit aquests perquè, al nostre parer, són els més adequats, però no per això han de ser millors que d'altres. Els treballs sobre Petjada Ecològica, i per extensió sobre qualsevol indicador mediambiental, admeten múltiples opinions i punts de vista i s'han de valorar i contrastar detingudament.

Dades

Per a l'elaboració d'aquest estudi s'han recollit dades de 150 països d'arreu del món, però no tots ells tenen, o els seus governs volen fer públiques, totes les dades que creiem que ens són necessàries. D'aquesta llista hem pogut recollir dades suficients de **93 països**¹⁵.

Alguns gràfics els hem elaborat sense especificar el país a què correspon cada dada, per motius eminentment pràctics, ja que molts dels punts es troben tant propers entre ells que la lectura dels noms corresponents hauria resultat molt difícil. En els que sí s'especifica ha estat possible degut a què la falta de dades ens impossibilita la generació de gràfics més complets, o perquè se n'han eliminat deliberadament alguns punts –sense modificar-ne la tendència de la regressió– per mostrar amb més claredat algun aspecte concret del gràfic.

Degut a l'origen dispar de les dades –Banc Mundial, Informe Planeta Viu, diverses pàgines a internet...– veiem que no pertanyen totes a un any concret. En el cas de l'anàlisi estàtic, algunes són més recents (2003) que d'altres (1997). Tanmateix, gràcies a que els valors no varien molt en períodes curts –excepte en casos puntuals que no varien significativament el resultat final– les podem comparar juntes. Les variables dinàmiques (canviants amb el temps) es poden veure afectades per aquest fet, ja que la diferència d'anys entre unes i altres és força gran –28 anys entre 1975 i 2003 en el cas de la PE, i 17 anys entre 1980 i 1997 en les altres variables dinàmiques–. Per evitar aquest error hem realitzat els càlculs en base a una variació anual, dividint la diferència total entre la data més recent i la més antiga pel nombre d'anys que les separen.

¹⁵ En les primeres anàlisi obviem els preus de la gasolina, ja que se'n coneixen poques dades (42 països) i els incloem més endavant. Els països dels què se'n tenen més dades, els països rics pertanyents a la OCDE (22), representen una mostra insuficient per a poder extreure'n uns resultats estadísticament significatius a nivell global, però tot i així els hem inclòs com a representants dels països més desenvolupats .

Quines variables tindrem en compte? Per què aquestes i no unes altres?

La Petjada Ecològica (PE) total, com a indicador de l'impacte ambiental d'una societat, depèn directament del nombre d'habitants d'aquesta, a major població major impacte. Ara bé, no hem de confondre l'impacte total amb l'impacte individual. Observem el cas dels dos països amb una major PE total l'any 2003, la Xina i els Estats Units d'Amèrica (EEUU). La Xina té una Petjada Ecològica de 2080 hectàrees globals, un 35% menor que la dels EEUU (2800). Per tant, podríem pensar que un individu xinès impacta sobre el medi un 35% menys que un nord-americà. Això no és cert ni de bon tros. La Xina és el país més poblat del Món (1300 milions, prop d'una cinquena part de la població mundial), i si dividim la PE total del país entre el seu nombre d'habitants ens dona una PE *per càpita* d'1,6 hectàrees globals. És a dir que cada xinès requeriria 1,6 hectàrees del planeta per a compensar els seus nivells de consum. Si fem el mateix càlcul per als individus nord-americans ens dona un resultat molt superior (9,6). És a dir, que cada habitant dels EEUU sextuplica –de mitjana– l'impacte d'un xinès (Hails, 2006). Per evitar, doncs, l'error que suposa no tenir en compte el nombre d'habitants, utilitzem la PE *per càpita* (PE_{pc}).

Els factors escollits per a la primera comparativa –estàtica– amb la PE_{pc} són la renda *pc*, la població urbana, la densitat mitjana de les ciutats principals, el preu de la gasolina i la latitud mitjana de cada país.

Degut a que l'impacte sobre el medi està íntimament lligat als nivells de consum i per tant al desenvolupament econòmic, creiem imprescindible la inclusió del factor renda. La renda *per càpita* l'expressem com a Producte Interior Brut *per càpita* (PIB_{pc}), que mesura la producció realitzada per factors de producció

residents en el país, independentment de qui sigui el seu propietari¹⁶ (Fischer *et al*, 1998). És, per tant, una dada purament econòmica, l'unitat de la qual són els dòlars nord-americans (US\$), que ens indica en termes monetaris sobre la producció de béns d'un país.

La població urbana¹⁷ s'expressa com el percentatge de població urbana respecte el total de la població de cada país. Per a conèixer la importància de la forma urbana en termes de PE és necessari saber com està estructurada la població, quina és la distribució demogràfica del país. El percentatge de població urbana és una bona eina en aquest sentit, ens indica quina part dels habitants d'un territori conviu en àrees de gran densitat com són les ciutats. L'any 2003 el 76% de la població dels països desenvolupats vivia en àrees urbanes, mentre que en els països més pobres aquesta proporció no arribava ni al 35% de mitjana (càlculs propis a partir de Hails, 2006). Aquesta diferència, però, sembla que s'està escurçant ràpidament¹⁸.

Molt lligada a la variable població urbana, tenim en compte també la densitat mitjana de les ciutats principals de cada país (en habitants/km²). Un cop sabem quina part de la població resideix en ambients urbans ens interessa conèixer com són aquests ambients, caracteritzats per la seva forma més expressiva, les ciutats. La definició de ciutat és molt subjectiva, però per al treball que ens ocupa no cal que entrem en aquest tipus de debat. Les dades que hem obtingut sobre densitat urbana les proporcionen originalment les administracions públiques, que prenen com a referència els límits administratius i jurisdiccionals sense qüestionar-se fins on arriba realment la ciutat. Per al nostre estudi hem realitzat, de cada país,

¹⁶ A diferència del PNB, o Producte Nacional Brut, que és el valor de mercat dels béns i serveis produïts en un període donat pels factors de producció de propietat nacional. Tot i que no sol haver una gran diferència entre un i altre indicador, hem cregut més apropiat utilitzar el PIB, ja que ens interessa comparar la riquesa amb la demografia i el clima del territori que conforma el país en qüestió.

¹⁷ La definició de què es considera «urbà» varia a cada país, però es pot quantificar utilitzant almenys tres conceptes diferents: el nombre de persones que viuen dins els límits jurisdiccionals d'una ciutat; les que viuen en zones amb una alta densitat d'estructures residencials (aglomeracions urbanes); i les que tenen vincles econòmics directes amb un centre urbà (àrea metropolitana) (Starke, 2007).

¹⁸ Veure Marc Teòric.

una mitjana entre un mínim de tres ciutats representatives –Azerbaidjan, Bolívia, Egipte, Malàisia, Finlàndia...– i un màxim de dues-centes quaranta –Xina, EEUU–, en base a les dades disponibles.

És obvi que la variació del preu de mercat d'un bé qualsevol no afecta directament el medi natural; el preu de la gasolina és en aquest cas una variable indirecta. Un augment del preu pot suposar una disminució de l'ús de l'automòbil com a mitjà de transport, repercutint alhora en les emissions de diòxid de carboni (CO₂), factor clau en el càlcul de la PE. La Petjada energètica¹⁹ representa el 55% de la PE total del planeta²⁰. D'aquesta, prop del 86% prové de les emissions de CO₂ (Hails, 2006). Al voltant del 10% de les emissions d'aquest gas tenen els mitjans de transport com a origen, de les quals un 87% corresponen als vehicles automòbils (World Bank, 2004). Per tant, les emissions de CO₂ dels automòbils representen aproximadament el 4% de la PE total del planeta, un valor força alt tenint en compte la diversitat de factors que defineixen aquest indicador. La pregunta que ens fem en aquest cas és: fins a quin punt influeixen els increments dels preus dels carburants en la PE?. La qüestió no està tan allunyada de l'objectiu d'aquest estudi com pot semblar a primer cop d'ull. La forma urbana juga un paper important en els transports –i viceversa–²¹, i els transports depenen directament de la disponibilitat de carburant.

Les dades recollides per a l'anàlisi de la variable “preu de la gasolina” vénen en US\$ per litre de gasolina sense plom. Seria més acurat establir valors mitjans ponderats entre tots els diferents tipus de combustible, en funció de la intensitat d'ús de cadascun, però la manca de dades públiques ho fa inviable.

La latitud mitjana dels països com a variable, en graus positius respecte l'equador, és un intent de classificar-los en base a la seva climatologia. El consum energètic dels habitants d'un territori determinat està íntimament relacionat amb

¹⁹ Engloba la part de la PE relacionada amb l'obtenció i el consum d'energia. Inclou les emissions de CO₂ de combustibles fòssils, la llenya, l'energia nuclear i la hidroelèctrica.

²⁰ Als països desenvolupats la mitjana és del 63%. Suïssa assoleix el 70%.

²¹ Veure *Marc Teòric*.

la seva climatologia, principalment amb el seu rang de temperatures. Diverses són les opcions que es presenten per a classificar els països segons aquest criteri: països freds/països càlids, en base a la temperatura mitjana anual, segons la seva latitud... Ens hem decantat per aquesta tercera opció, ja que les diferents regions climàtiques del nostre planeta –a grans trets: polar, temperada, àrida, tropical, mediterrània i muntanyosa²²– presenten una distribució aproximadament paral·lela a l'equador terrestre.

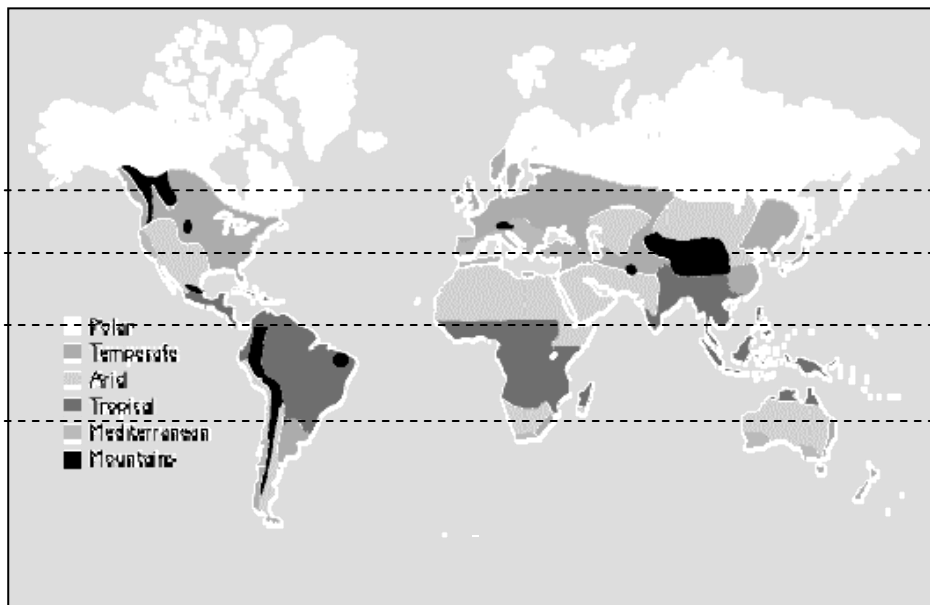


Figura1. Distribució latitudinal (aprox.) de les regions climàtiques

Cada país, però, té una forma diferent, i alguns –com Xile, que de Nord a Sud abasta 4200 km– “toquen” diferents regions climàtiques, i no vam voler rebutjar les altres opcions sense provar-les. La primera opció, que ha quedat recollida en l'Annex II, ens va semblar prou vàlida però la latitud ens aportava més valors i per tant una distribució més ajustada; la temperatura mitjana, en canvi, no reflectia les grans oscil·lacions tèrmiques que pateixen sobretot les zones

²² Hi ha múltiples classificacions de les regions climàtiques, algunes de més genèriques com la que hem enumerat, d'altres molt més concretes –i extenses en graus de classificació– en funció del grau d'humitat en cadascuna de les estacions de l'any o d'altres paràmetres específics. Malgrat això, en unes i en altres es pot observar un cert patró latitudinal, que és el que ens interessa.

desèrtiques (amb temperatures diürnes de fins a més de 45 °C i nocturnes que assoleixen el punt de congelació, 0 °C) i finalment no l'hem utilitzat.

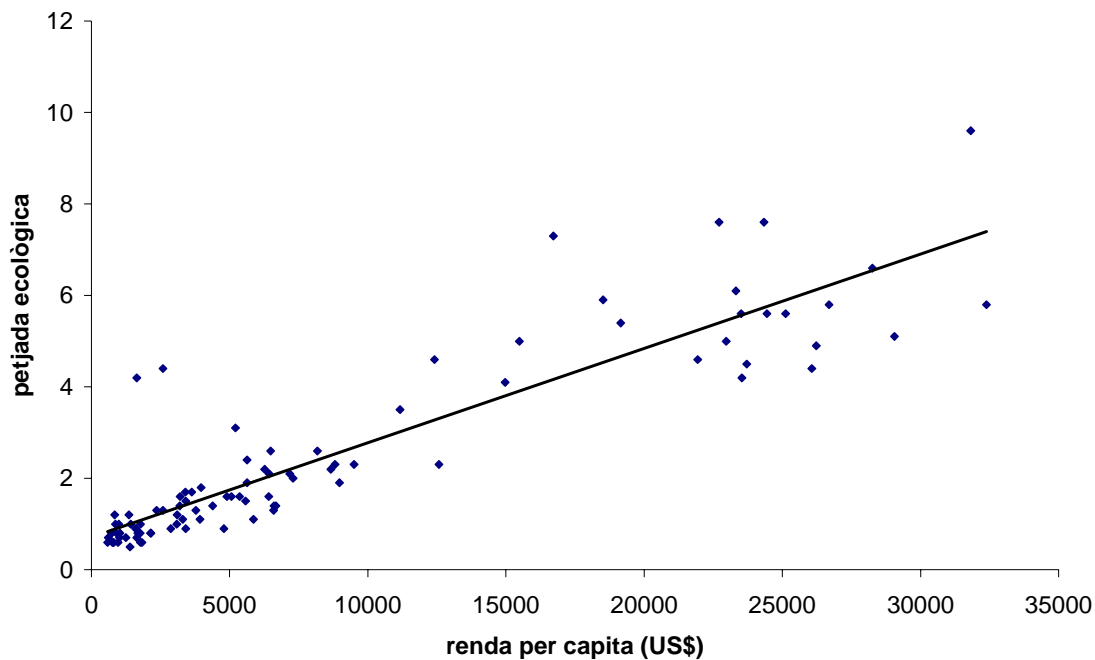
L'anàlisi **dinàmic** es basa en pràcticament les mateixes dades, amb la diferència que algunes són presentades en termes de variació. De nou, utilitzem la latitud, la renda *pc* i la població urbana, i com a elements dinàmics prenem els increments d'aquests dos últims valors –les variacions anuals del PIB i de la població urbana–. Aquestes dades tenen una tendència –a l'alta o a la baixa segons el cas– que ens permet observar com ha canviat en els últims 20 anys aproximadament el rol de les influències de cada variable amb la PE. Veurem si algunes han guanyat més pes en detriment d'unes altres, o si aquestes variacions no són prou significatives en el període estudiat. De la mateixa manera, analitzar una tendència sempre t'obre la porta a la pregunta “i què passarà a partir d'ara?”. Potser descobrirem que alguna de les variables menys influents avui en dia ho seran molt més en un futur no gaire llunyà.

Els estudis sobre petjada ecològica no són tancats, en el sentit que accepten diferents opinions i punts de vista. Potser hom escolliria variables diferents per a l'anàlisi, o n'inclouria de nous o n'extrauria algun. Nosaltres tampoc ens hem volgut estancar en unes dades concretes sense parar-nos a pensar sobre altres possibles opcions. Per això a l'annex s'hi inclouen algunes de les idees que han sorgit però que, per una o altra raó, no han arribat a bon port o no han resultat ser prou significatives per afegir-les al cos del treball.

RESULTATS I ANÀLISI

▪ Dades d'estàtica

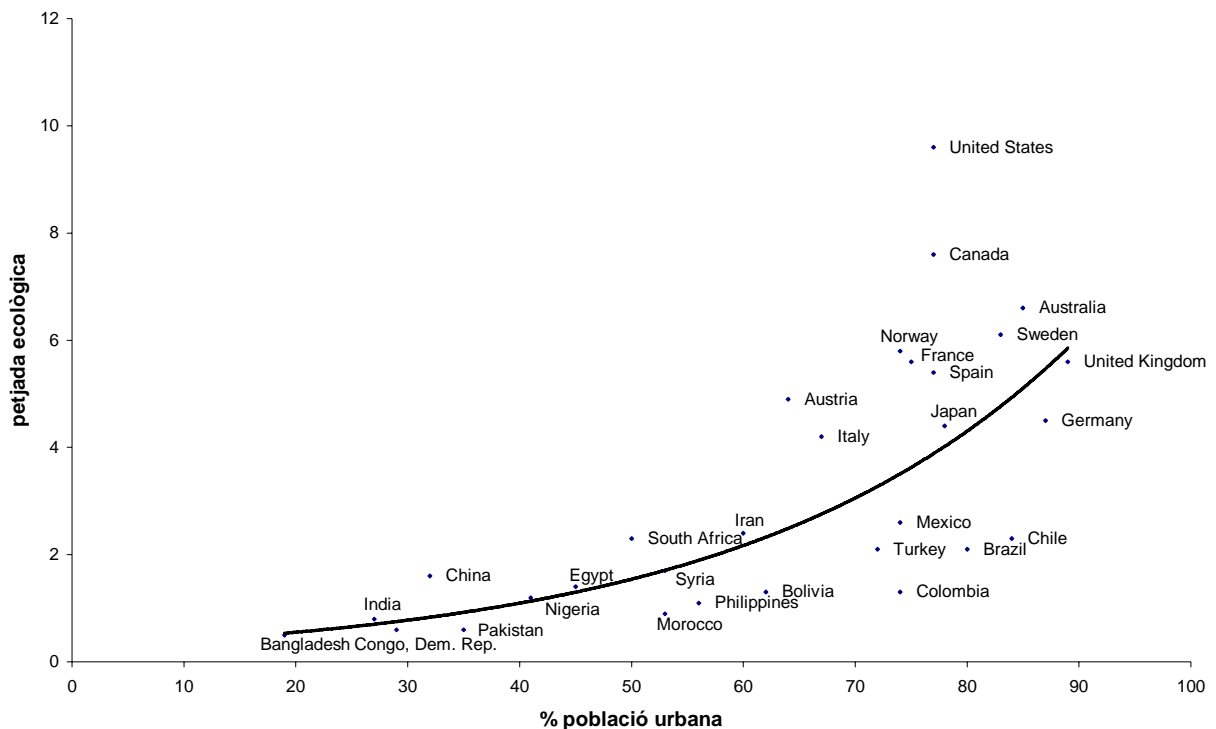
Observant la relació entre la *PEpc* i la renda *per càpita* de cada país (gràfic5) ens adonem que existeix una proporció directa força clara entre els dos factors. Els països amb una major renda, els més rics, són alhora els que més impacten sobre el medi ambient. Aquesta conclusió no sorprèn, per la mateixa definició de la PE ho podem sospitar: la PE és un càlcul de consum de recursos, per tant a major consum major impacte. En un món en què el sistema econòmic global és un mercat capitalista, que ha d'estar en continu moviment, els que més posseeixen són alhora els que més consumeixen i rebutgen.



Gràfic5. PEpc - PIBpc (font: elaboració pròpia)

Aquest gràfic també ens mostra com al Món hi ha un nombre molt major de països pobres que de països rics, un “núvol” dens de punts proper a l’origen de coordenades del gràfic, però aquest fet –lamentable, d’altra banda– no competeix a l’objectiu del present treball.

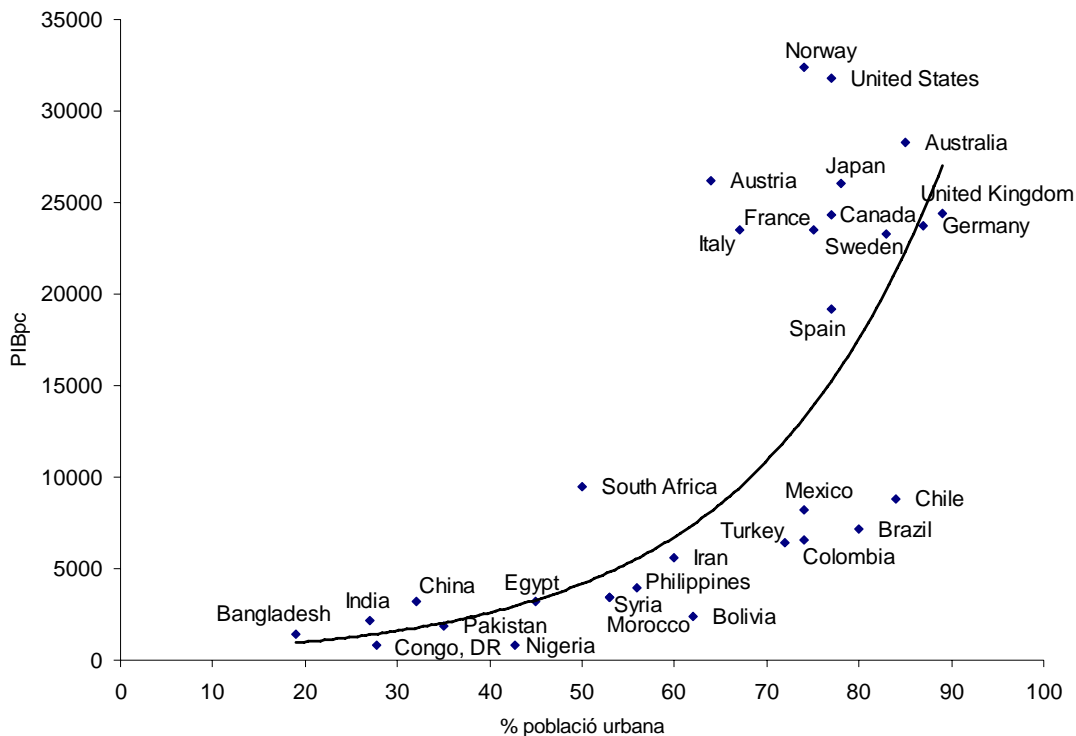
Centrem-nos ara en unes dades més directament relacionades amb l’objectiu d’aquest treball, comparem PE_{pc} amb el percentatge de població urbana (Gràfic6). Per a poder referir els punts del gràfic amb els seus països corresponents hem fet un “buidat” de punts, amb cura de no modificar la tendència obtinguda en la mostra total de 93 països, i mantenint aproximadament la mateixa varianza²³. S’observa una clara tendència ascendent: els països amb un major percentatge de població urbana tenen alhora una major PE_{pc} .



Gràfic6. PE_{pc} – % Població Urbana (font: elaboració pròpia)

²³ Magnitud que dóna una idea de si un conjunt de valors són, en general, a prop o lluny de la seva mitja (Box, 1998).

Podríem afirmar, per tant, que el percentatge de població urbana d'un país és una causa directa de la seva Petjada Ecològica? És a dir, que quanta més gent visqui en zones urbanes en detriment de les zones rurals, major serà la PE del territori en qüestió? No encara; recordem que en aquest anàlisi molts factors s'influeixen mútuament. Veiem què passa si fem un gràfic amb les variables "PIBpc" i "% Població Urbana" (Gràfic7).



Gràfic7. PIBpc - % Població Urbana (font: elaboració pròpia)

Sorpresa? El gràfic resultant ens indica que el nivell de renda d'un país i la seva població urbana són dos factors que també estan relacionats entre ells, de manera que els països "pobres", o amb menors índexs de producció, són aquells en què la majoria dels seus habitants viuen en zones rurals, mentre que les poblacions més riques –econòmicament parlant– tenen un alt percentatge de població urbana.

Tenim ara, doncs, dues variables que afecten en un mateix sentit a la PE_{pc} . Sent així, ens vénen al cap dues possibilitats: que ambdues variables es modifiquin mútuament, afectant conjuntament a l'entorn (Figura2), o bé que una de les dues variables – PIB_{pc} o % de Població Urbana– sigui la causa original que modifiqui l'altra variable i alhora la PE_{pc} . I suposant que considerem la primera opció com a vàlida, encara se'ns obriria una altra porta: quin factor n'és l'origen, el nivell de renda o la població urbana? (Figura 2a, 2b).

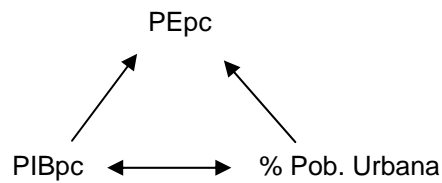


Figura2. PIB i % Població Urbana s'afecten mútuament

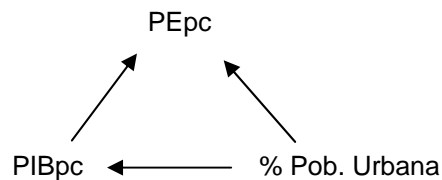


Figura2a. % Població Urbana com a variable d'origen

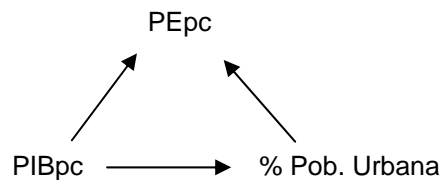
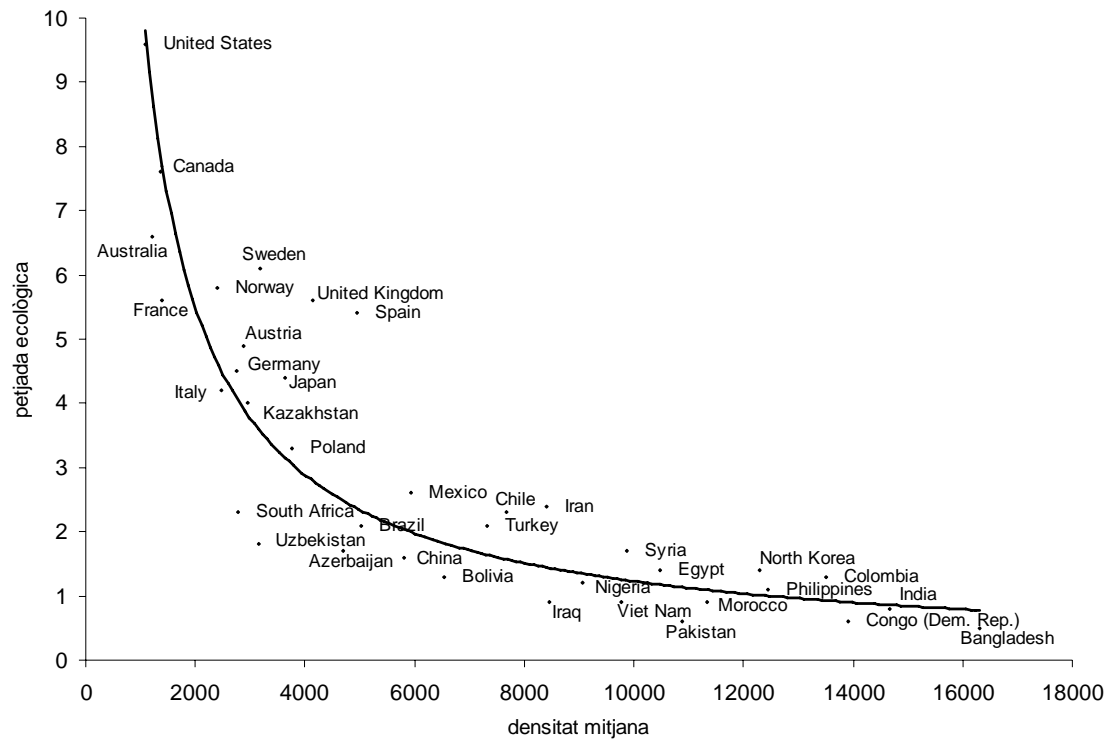


Figura2b. PIBpc com a variable d'origen

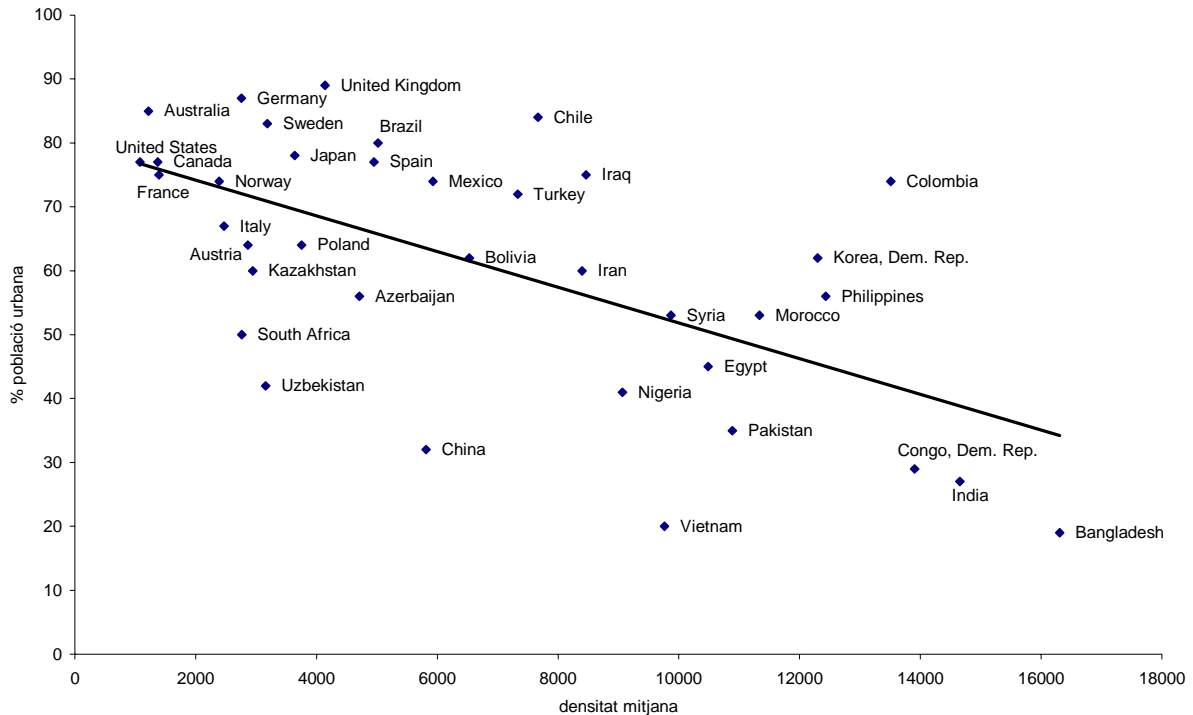
Hi ha una tercera opció, no contemplada, que seria la influència d'una tercera variable sobre les dues esmentades. Aquest supòsit hauria de poder modificar alhora la renda d'un país i la relació població rural/urbana; degut a què no coneixem una variable única d'aquestes característiques hem decidit obviar aquesta possibilitat. Tot seguit veurem quina és l'opció que creiem més encertada.

Hem vist gràficament com es comporta la PE en funció del percentatge de població urbana. Però com són aquestes zones urbanes? Un aspecte important de les ciutats –com a exemple específic i més definit de zona urbana– en el seu impacte potencial sobre el medi és l'extensió en superfície que ocupen, que podem mesurar en base a la densitat d'habitants per quilòmetre quadrat (habitants/km²). Si ens basem en la lògica, aquelles ciutats amb una menor densitat ocuparan més territori –per a una població determinada– i per tant la seva PE hauria de ser també major. Elaborant un gràfic a partir de les dades obtingudes comprovem que la tendència resultant s'adequa a aquesta suposició (Gràfic8).



Gràfic8. PEpc – Densitat mitjana principals ciutats (font: elaboració pròpia)

Observem també, abans d'analitzar aquest gràfic, com es comporta la densitat urbana respecte el percentatge de població urbana (Gràfic9). Ens serà útil per a poder extreure'n conclusions més sòlides.



Gràfic9. % Població Urbana – Densitat mitjana principals ciutats (font: elaboració pròpia)

D'aquestes dues representacions en podem obtenir una informació rellevant, clau en la nostra investigació; observant la disposició dels països veiem com aquells amb major petjada són també els que tenen una menor densitat urbana (Gràfic8), i una major renda *per càpita* (Gràfic7). Curiosament, és el mateix cas que ens hem trobat comparant la *PEpc* amb el percentatge de població urbana (Gràfic6), i és per aquesta raó que els hem volgut comparar mútuament (Gràfic9). Com ja hem matisat en diverses ocasions en aquest estudi, totes les variables es relacionen les unes amb les altres, fent la seva anàlisi més rica i complexa.

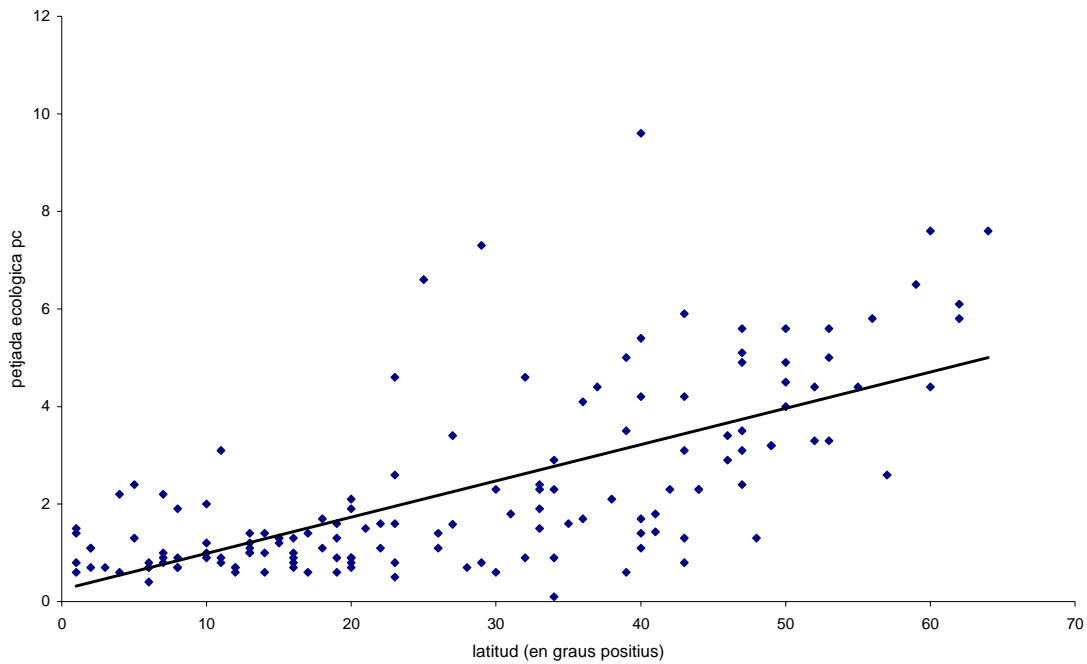
Observant la relació “% Població Urbana – Densitat mitjana” (Gràfic9) ens adonem d'un petit detall que a primer cop d'ull pot passar per alt. Tot i mantenir la tendència decreixent esperada –a major densitat de les ciutats, menor percentatge de població urbana– la corba de regressió no està tan ben definida com en altres gràfics; els valors que la conformen es troben més dispersats pel quadrant. Què

ens indica aquest fet? Doncs probablement que no s'influencien directament, sinó que depenen d'altres factors: geogràfics, socials, històrics i... econòmics.

Si comparem aquesta nova dada amb la informació obtinguda fins a aquest punt, intuïm que entre les opcions que havíem plantejat sobre la relació PE - renda - població urbana (Figures 2, 2a, 2b) la que més s'adequa a aquesta nova situació és la que situa el PIB_{pc} com a variable "origen", és a dir que no tan sols influeix directament sobre la Petjada, sinó que també ho fa sobre el percentatge de població urbana i sobre la densitat mitjana de les ciutats, que de retruc afecten - novament- la PE.

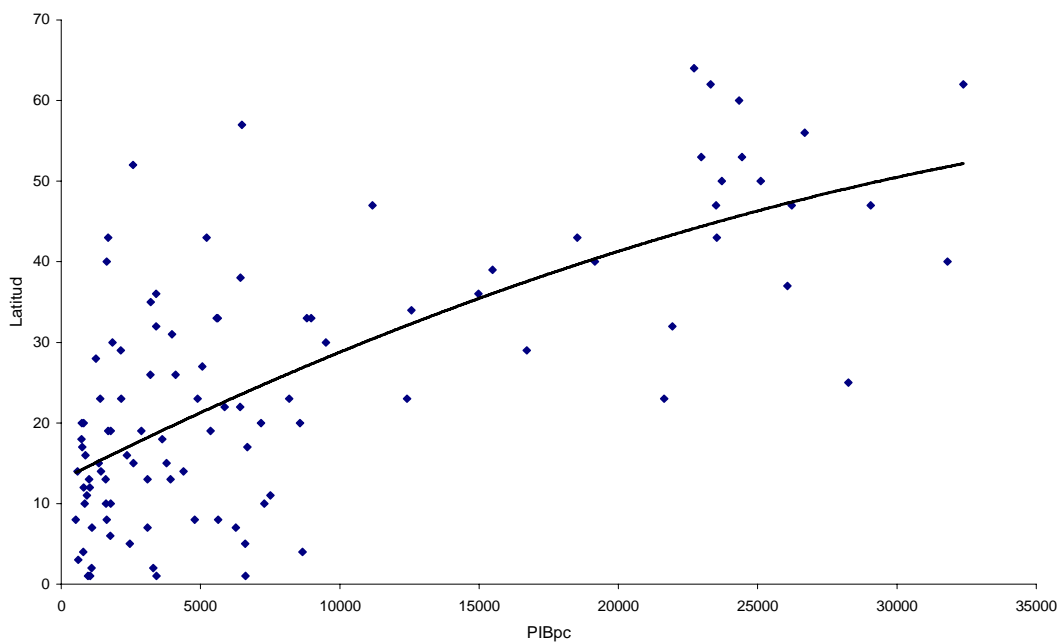
Tanmateix, tot i que els factors estudiats fins ara ens han aportat una informació vital en el nostre treball, no en podem treure unes conclusions fiables si no n'hem analitzat encara totes les variables.

Quin paper hi juga la latitud? Als països més freds els consums energètics són majors -principalment per la calefacció a les llars-, incidint directament en els valors de PE. Per tant, els països amb una latitud mitjana més allunyada de l'equador terrestre tindran una PE_{pc} més gran que els de les regions temperades o tropicals (Gràfic10).



Gràfic10. PEpc - Latitud (font: elaboració pròpia)

A més, resulta que els països més desenvolupats, més rics, es troben situats a les regions fredes, principalment de l'hemisferi nord (Gràfic11).



Gràfic11. Latitud - PIBpc

Aquesta distribució té el seu origen en part en les característiques físiques – climàtiques i geològiques– de cada regió, com assenyalà el ginebrí Jean-Jaques Rousseau en el seu famós *Discurs sobre l'origen de la desigualtat entre els homes*, parlant sobre els orígens de la humanitat:

“A mesura que s’anava estenent el gènere humà, els treballs es multiplicaren juntament amb els homes. La diferència de terrenys, de climes i d’estacions pogué obligar-los a tenir-la en compte en la seva manera de viure. Els anys estèrils, els hiverns prolongats i rudes, els abrasadors estius que tot ho consumeixen, exigiren d’ells nova indústria. (...). La metal·lúrgia i l’agricultura van ser les dues arts el descobriment de les quals produí revolució tan gran. (...) i una de les raons principals de què hagi estat Europa, sinó abans, almenys més constantment ordenada que les altres parts del món, és que, al mateix temps que abundant en ferro, és la més fèrtil en blat.”

Partint d’aquest origen més físic, la situació actual de desigualtat econòmica nord-sud (o, millor dit, països freds – països càlids) és fruit sobretot d’esdeveniments històrics molt més recents –expansions imperialistes, colonialisme– que escapen de l’objectiu del nostre estudi. Tan sols subratllar que, inclús una variable física com és la latitud, està relacionada amb la PE; directament, incidint en el consum energètic de les regions més fredes, i indirectament, influint en la distribució econòmica de cada país.

Degut a aquesta correlació entre regió climàtica i renda *per càpita* (Gràfic7) la construcció de gràfics entre les diferents variables estudiades fins ara i la latitud ens donarà resultats semblants als de PIBpc.

La variable “preu de la gasolina” no la incloem en aquest primer anàlisi amb la PE. Recordem que es tracta d’una variable que influeix de forma indirecta sobre el

medi²⁴, i per tant la representació gràfica de la relació “PE – preu de la gasolina” tindria un alt soroll²⁵ que no ens permetria treure’n cap conclusió clara.

Un cop analitzades les diferents variables una a una, provem de fer les anàlisi de regressions que ens combinin totes les variables alhora, permetent-nos així confirmar o desmentir els diversos resultats –que no encara conclusions– obtinguts.

La primera anàlisi (Taula8) consta de cinc “subanàlisi”, que prenen grups de variables diferents en cada cas²⁶. Les variables a tractar són “densitat mitjana de les ciutats principals” (expressat com a DENS_CIUTATS), “percentatge de població urbana de l’any 1997” (POBURB_97), “renda *per càpita* de 1997” (PIB_97) i “latitud”. La variable “preu de la gasolina” no l’incloem, de moment, per falta de dades. De la població urbana i la renda n’especifiquem l’any per diferenciar-les més endavant, en què treballem amb dades d’anys anteriors.

²⁴ Veure *Dades*.

²⁵ En estadística, el soroll és la pertorbació causada per un control incomplet de l’entorn de l’experiment o per errors en la mesura i la presa de dades (Box, 1999). En el nostre cas, si ignoréssim els factors existents –coneguts– entre la PE i el preu de la gasolina, no tindríem en compte el soroll.

²⁶ Veure *Procediment i Metodologia*.

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| C | -1.403 (-1.22) | -4.606 (-16.63) | 2.708 (3.04) | 1.799 (2.13) | -1.353 (-1.68) |
| LOG(DENS_CIUTATS) | -0.301 (-3.23) | | -0.619 (-8.00) | -0.537 (-7.30) | -0.284 (-4.25) |
| LOG(POBURB_97) | 0.217 (1.98) | | 0.812 (8.20) | 0.709 (7.54) | |
| LOG(PIB_97) | 0.402 (5.61) | 0.575 (15.26) | | | 0.481 (11.73) |
| LOG(LATITUD) | 0.108 (2.73) | 0.116 (2.57) | | 0.208 (4.26) | 0.104 (2.52) |
| R² | 0.851 | 0.812 | 0.708 | 0.757 | 0.843 |

Quadre 8. Significativitat de les variables d'estudi (93 països)

El primer que ens crida l'atenció és l'alt valor de la R-quadrat. Un ajust tan bo – entre 0,7 i 0,85 per a totes les subanàlisi – indica que les dades delimiten força bé la tendència del conjunt. Així mateix, la distribució t-student (entre parèntesi) és per a totes les variables significativa.

Els valors més baixos els trobem en la latitud, probablement degut a què la seva influència sobre la PE és indirecte, incidint més sobre les altres variables. Això ho podrem comprovar en la matriu de correlació (Taula9).

Els alts valors del PIB_{pc} confirmen les sospites que teníem sobre la seva forta influència, no tan sols sobre la PE, sinó sobre tots els altres factors relacionats amb la forma urbana. Observem que quan ignorem la renda (subanàlisi 3 i 4) els valors de les altres variables augmenten considerablement.

Fent un cop d'ull a la matriu de correlació corresponent a aquest anàlisi de regressió corroborem, d'una banda, l'alta influència del PIB sobre totes les variables –com ha quedat demostrat en les representacions gràfiques de les

comparacions “u a u”-, i d'altra banda com els factors urbans –POBURB_97 i DENS_CIUATATS– tenen valors molt semblants entre ells i també molt alts en relació amb la PE i amb la renda.

| (log) | PE_2003 | PIB_1997 | POBURB_97 | DENS_CIUATATS | LATITUD |
|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|
| PE_2003 | 1.000000 | 0.893421 | 0.707471 | -0.699937 | 0.570543 |
| PIB_1997 | 0.893421 | 1.000000 | 0.744550 | -0.620474 | 0.526775 |
| POBURB_97 | 0.707471 | 0.744550 | 1.000000 | -0.398771 | 0.367236 |
| DENS_CIUATATS | -0.699937 | -0.620474 | -0.398771 | 1.000000 | -0.370165 |
| LATITUD | 0.570543 | 0.526775 | 0.367236 | -0.370165 | 1.000000 |

Taula9. Matriu de correlació (93 països)

Els factors PE i PIB estan tan associats entre ells que els seus valors de correlació amb les altres variables tenen valors molt semblants. Tot i no haver una gran diferència, sembla com si la Població Urbana es trobés més lligada al PIB, mentre que DENS_CIUATATS i LATITUD afecten més la PE.

Els baixos valors de DENS_CIUATATS amb POBURB_97 o amb LATITUD, així com els de POBURB amb LATITUD, es donen perquè l'evolució i les característiques d'una ciutat depenen en gran part d'altres fenòmens, el més clar dels quals és la geografia física. Això també corrobora la idea que el factor “original” és la renda, ja que els altres factors entre ells s'influeixen poc.

Introduïm ara la variable “preu de la gasolina” i comparem-la amb la regressió anterior (Taula10).

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| C | 0.943 (0.75) | -4.060 (-6.52) | 4.784 (3.91) | 3.241 (2.53) | 1.521 (1.21) | 8.073 (8.94) | -2.857 (-2.37) | 1.085 (11.19) |
| LOG(DENS_CIUTATS) | -0.498 (-5.14) | | -0.773 (-7.91) | -0.640 (-6.16) | -0.482 (-4.84) | -0.845 (-7.75) | | |
| LOG(POBURB_97) | 0.299 (1.82) | | 0.645 (3.54) | 0.564 (3.27) | | | 0.943 (3.29) | |
| LOG(PIB_1997) | 0.270 (3.76) | 0.453 (5.82) | | | 0.327 (4.88) | | | |
| LOG(LATITUD) | 0.157 (2.00) | 0.294 (3.03) | | 0.234 (2.63) | 0.164 (2.02) | | | |
| LOG(PREU_GAS) | -0.018 (-0.19) | -0.014 (-0.12) | 0.136 (1.35) | -0.016 (-0.14) | -0.021 (-0.21) | 0.169 (1.47) | 0.426 (2.82) | 0.517 (3.11) |
| R² | 0.856 | 0.743 | 0.762 | 0.799 | 0.843 | 0.683 | 0.370 | 0.195 |

Taula10. Significativitat de les variables d'estudi (42 països; inclou "preus de gasolina")

L'ajust de la variable "preu de la gasolina" és molt baix quan en fem la regressió amb aquesta com a única variable (0,195 sobre un màxim de 1), confirmant la suposició inicial que havíem fet sobre la influència indirecta d'aquesta variable en la PE. Alhora, corrobora la nostra decisió de no tenir-la en compte en les primeres anàlisi "u a u" amb la Petjada, ja que el resultat que n'hauríem obtingut no hagués estat significatiu.

A més, la *t*-Student és també molt baixa en tots els casos en la preu_gasolina, distribució no significativa. Per tant, podem suposar –no afirmar, sobre les dades obtingudes– que la relació entre els preus de la gasolina i la PE estan remotament lligats. Inclús la latitud té més pes.

Tots els valors han disminuït respecte el quadre anterior, en part per la presència de la nova variable, però sobretot perquè, en no poder disposar de més dades, aquest anàlisi s'ha fet amb només 42 països, xifra potser insuficient per a l'anàlisi estadístic.

| (log) | DENS_CIUTATS | POBURB_97 | PIB_1997 | LATITUD | PREU_GAS |
|--------------|--------------|-----------|----------|----------|-----------|
| | | | – | – | |
| DENS_CIUTATS | 1.000000 | –0.257863 | 0.611757 | 0.612418 | –0.391749 |
| POBURB_97 | –0.257863 | 1.000000 | 0.512341 | 0.310013 | 0.182037 |
| PIB_1997 | –0.611757 | 0.512341 | 1.000000 | 0.595901 | 0.374656 |
| LATITUD | –0.612418 | 0.310013 | 0.595901 | 1.000000 | 0.626182 |
| PREU_GAS | –0.391749 | 0.182037 | 0.374656 | 0.626182 | 1.000000 |

Taula 11. Matriu de correlació (42 països)

Com era d'esperar, la correlació de PREU-GAS amb les altres variables és molt baixa, excepte en un cas, la LATITUD (0,63). Aquí potser hi intervenen ja factors de mercat. Els principals països exportadors de petroli es troben situats en latituds properes a l'equador, i els principals importadors són els més rics, més propers als pols.

Abans de procedir a l'anàlisi dinàmic, farem una altra ullada a les mateixes variables per a 22 països, tots ells pertanyents a la OCDE (Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic), i tots països desenvolupats (Taules 12, 13).

D'aquest anàlisi no podem extreure'n conclusions extensives a tots els països del món, però sí que podem fer una reflexió en torn als més rics. Curiosament, ara els preus de la gasolina i la latitud representen la fracció força important, mentre que les variables de renda i urbanes tenen valors molt baixos. Potser aquesta situació es dona precisament per la poca diferència de latitud –pràcticament tots els rics es troben en regions fredes o temperades– i de renda –tots rics– entre els països. En canvi, el factor urbà sí que varia d'un país a un altre. A Estats Units, per exemple, la densitat urbana és molt menor que als països europeus, i al Japó és molt major. Això podria ser un tema de discussió important, però la manca de dades ens impossibilita fer-ho ara i ens hem de limitar a observar-ho sense extreure'n conclusions determinants.

| Variable | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| C | -1.020 (-0.56) | -3.601 (-4.67) | 4.583 (2.92) | -1.358 (-0.74) | -1.278 (-0.77) | 5.372 (5.92) | 0.388 (0.25) | 1.689 (17.88) |
| LOG(DENS_CIUTATS) | -0.172 (-1.54) | | -0.461 (-3.88) | -0.159 (-1.42) | -0.171 (-1.58) | -0.471 (-4.07) | | |
| LOG(POBURB_97) | -0.078 (-0.37) | | 0.166 (0.62) | 0.010 (0.05) | | | 0.304 (0.86) | |
| LOG(PIB_1997) | 0.073 (1.15) | 0.055 (0.92) | | | 0.064 (1.12) | | | |
| LOG(LATITUD) | 0.979 (3.27) | 1.265 (5.31) | | 1.133 (4.18) | 0.980 (3.36) | | | |
| LOG(PREU_GAS) | -0.594 (-2.79) | -0.782 (-4.37) | -0.127 (-0.63) | -0.692 (-3.50) | -0.599 (-2.89) | -0.122 (-0.62) | -0.306 (-1.19) | -0.305 (-1.19) |
| R² | 0.778 | 0.743 | 0.511 | 0.759 | 0.776 | 0.501 | 0.102 | 0.066 |

Taula 12. Significativitat de les variables (22 països OCDE)

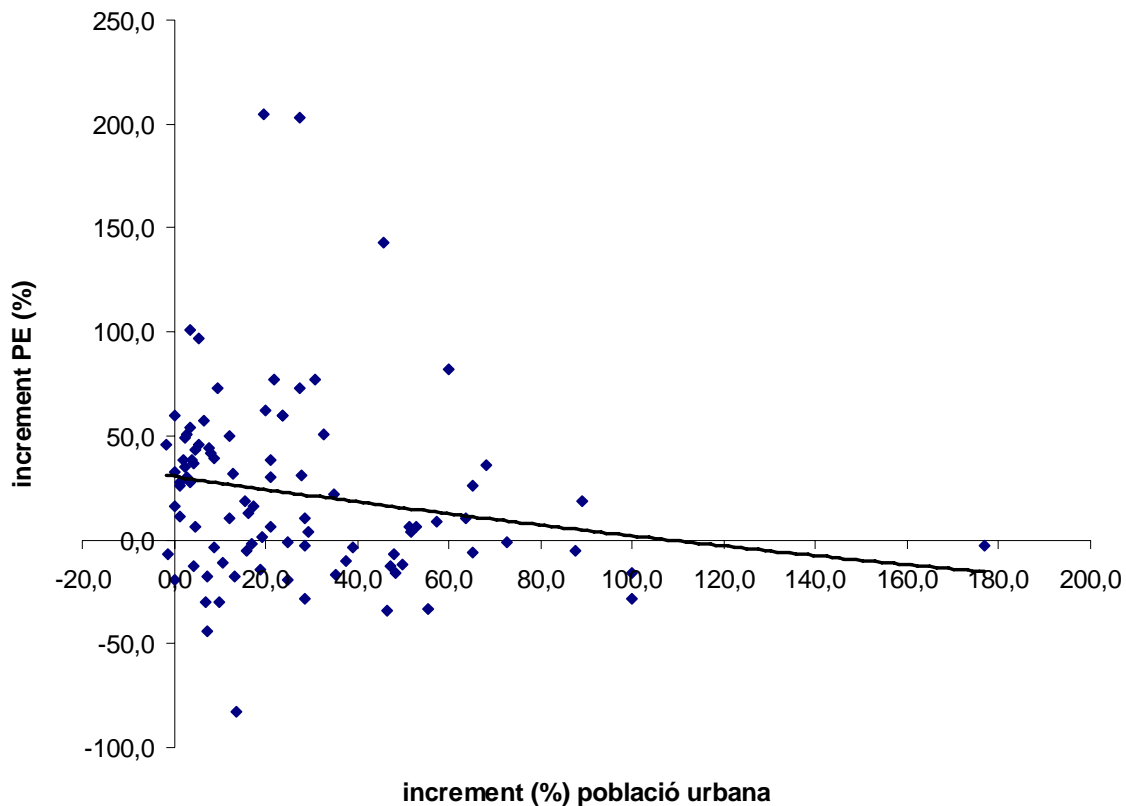
| (log) | DENS_CIUTATS | POBURB_97 | PIB_1997 | LATITUD | PREU_GAS |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| DENS_CIUTATS | 1.000000 | -0.127386 | -0.300371 | 0.227761 | -0.439378 |
| POBURB_97 | -0.127386 | 1.000000 | 0.418057 | 0.006253 | 0.202159 |
| PIB_1997 | -0.300371 | 0.418057 | 1.000000 | -0.150801 | 0.378585 |
| LATITUD | 0.227761 | 0.006253 | -0.150801 | 1.000000 | 0.493457 |
| PREU_GAS | -0.439378 | 0.202159 | 0.378585 | 0.493457 | 1.000000 |

Taula 13. Matriu de correlació (22 països OCDE).

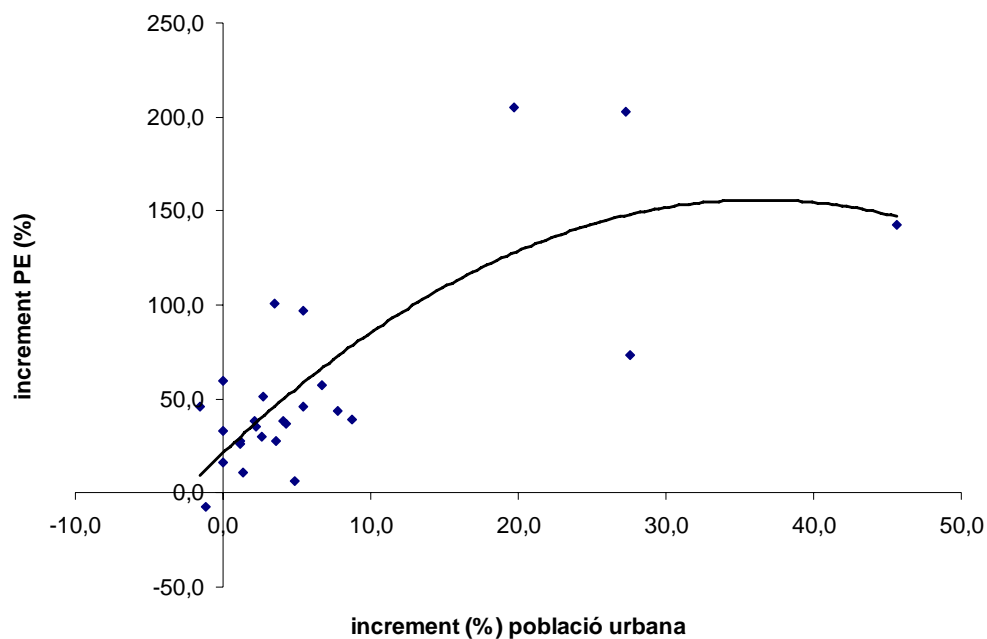
- Dades de dinàmica

L'anàlisi dinàmica ens permetrà observar, de manera anàloga a l'anàlisi estàtica, com s'influeixen certes variables que presenten variacions en el temps. Un dels factors més importants d'aquest anàlisi és veure com ha variat la PE (percentualment) amb la població urbana (Gràfic12).

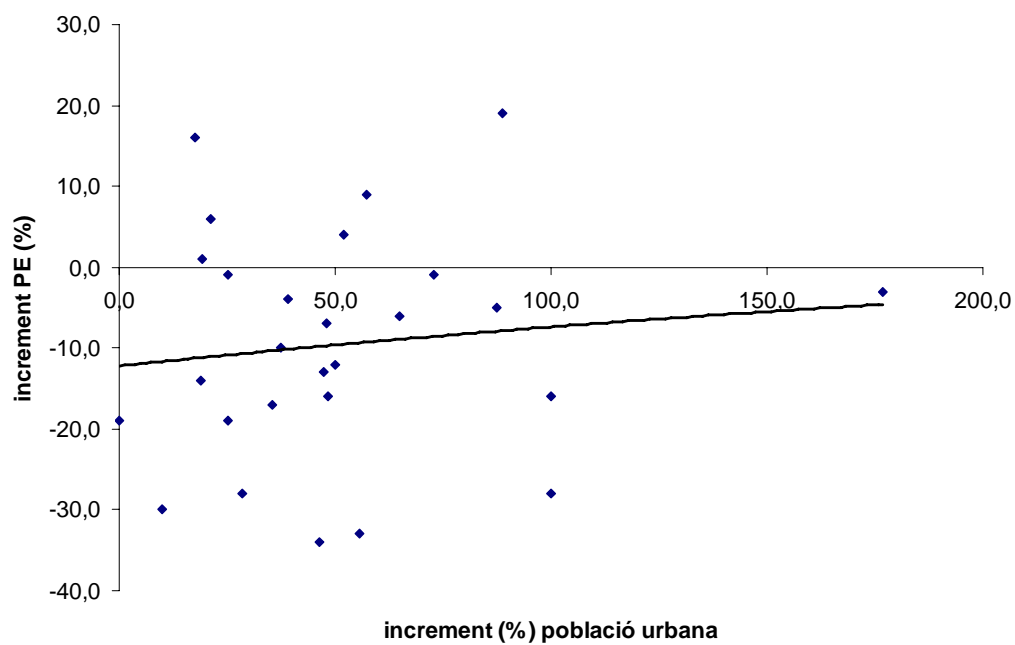
Tot i mostrar una certa tendència descendent, l'ajust és tan petit ($R^2 = 0,032$) que no ens permet treure'n cap resultat en net. Ara bé, si separem en dues gràfiques més els països industrialitzats dels més pobres (Gràfics12a, 12b), sí que s'aclareixen alguns conceptes.



Gràfic12. Increment PE (%) – Increment Població Urbana (%)



Gràfic12a. Increment PE (%) – Increment Població Urbana (%) (països rics)



Gràfic12b. Increment PE (%) – Increment Població Urbana (%) (països pobres)

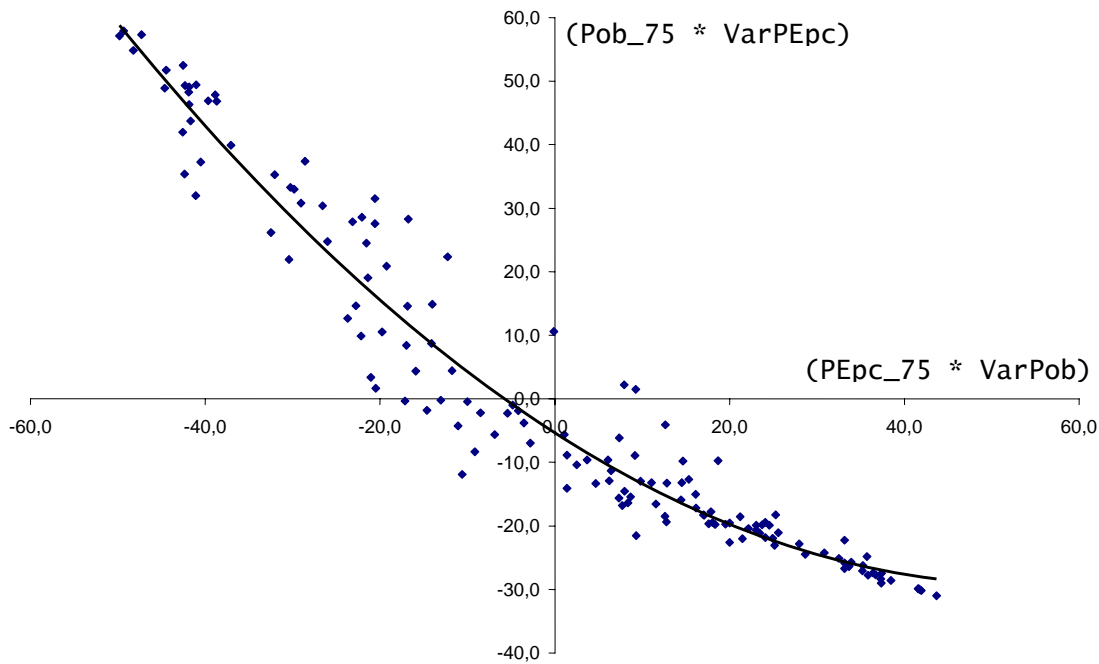
En el Gràfic 12a (rics) els països amb un major creixement de la població urbana són alhora els que han experimentat un creixement major de la seva PE, mentre que en els més pobres, en la majoria de casos, la PE disminueix –en alguns casos fins un 30%!–. Observem també la diferència d’escala; els països rics han incrementat la seva PE en alguns casos fins a un 200% mentre que en una gran part la població urbana només ha crescut un 10%. En els països menys desenvolupats, en canvi, l’augment de població urbana ha estat –en general– molt major, en la seva majoria amb creixements entre 20% i 100%.

Fent una anàlisi de regressió (Taula14) per als valors dinàmics el primer que ens crida l’atenció és la baixa significativitat de totes les variables, en què tan sols els valors de renda *per càpita* tenen una distribució *t*-Student acceptable. Sent així, no podem assegurar cap resultat al respecte, però sembla ser que, tot i que de forma puntual –marginal– la renda i la població urbana són factors clau en la PE, la seva evolució amb el pas dels anys no està tan lligada, o potser depèn d’altres factors més complexos de valorar –polítics, socials..–.

| Variable | 1 | 2 | 3 |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| C | 0.327 (0.94) | 0.493 (1.52) | 0.638 (3.09) |
| LATITUD | -0.017 (-1.46) | -0.002 (-0.18) | |
| PIB_1980 | 0.000 (3.01) | 0.000 (2.29) | |
| POBURB_80 | -0.008 (-0.89) | -0.010 (-1.18) | |
| VARPIB_ANUAL | 0.206 (4.45) | | 0.170 (3.25) |
| VARPOBURB_ANUAL | -0.007 (-0.19) | | -0.070 (-1.15) |
| R ² | 0.414 | 0.208 | 0.150 |

Taula14. Significativitat de les variables; amb increments anuals (93 països)

Quin és el pes específic de la població o de la PEpc en l'increment de la PE?
Seguint el procediment metodològic descrit²⁷, el gràfic resultant ens mostra la següent situació:



Gràfic13. $(Població\ 1975 * \Delta PEpc) - (PEpc\ 1975 * \Delta Població)$

La distribució resultant es troba molt ajustada i reparteix pràcticament tots els països en dos quadrants. En els països emplaçats al primer quadrant el pes específic de l'increment de Petjada és major que el de la població, mentre que en els del quart quadrant la situació s'inverteix.

Estudiant-ne els extrems, els 10 països en què ha pesat més l'increment de Petjada –en el període de 1975 a 2003– són Itàlia, Ucraïna, Geòrgia, Armènia, Romania, Àustria, Bielorrússia, Estonia, Bèlgica/Luxemburg i la República de Moldàvia, tots ells situats aproximadament a la mateixa regió geogràfica, Europa

²⁷ Veure *Metodología*.

Central o de l'Est. Mentre que aquells en què l'augment de població ha estat més rellevant han estat Albània, Pakistan, Ghana, Laos, Bangladesh, Paraguai, Moçambic, Aràbia Saudita, Togo i Nigèria, en aquest cas, el factor que els relaciona no és la geografia, ja que trobem països de quatre continents, sinó el nivell econòmic, baix en tots els casos. Als països pobres l'alta mortalitat infantil i la necessitat de tenir més "mans" per treballar i sobreviure fan augmentar la natalitat enormement, de manera que –a més de no incidir gairebé en el medi que els envolta– l'augment de la població es converteix en el factor decisiu de la PE.

Conclusions

El factor urbà és un element determinant en el càlcul de l'impacte que provoquen les activitats humanes sobre el medi que ens envolta. És indispensable que la planificació i la bona gestió de les noves megalòpolis, així com de qualsevol altra ciutat, sigui primordial en les agendes de tots els països. Variables com la densitat urbana de les nostres ciutats o el percentatge de població urbana dels nostres països han de ser les claus de l'evolució social en el *segle de les ciutats*.

La base d'aquesta gestió ha de ser principalment econòmica, en augment de la riquesa però sobretot **reduint les desigualtats**, no tan sols entre països rics i pobres, entre els malnomenats Primer i Tercer Món, sinó també dins de les ciutats, el Quart Món. El repte més gran del segle de les ciutats és aconseguir una desenvolupar les urbs mantenint o millorant la qualitat de vida dels seus ciutadans.

Encara queda molt per fer, i el millor moment per fer-la és abans de veure com es fan realitat les prediccions, s'ha de planificar amb temps. S'ha d'aclarir i normalitzar el concepte de ciutat. Què entenem per ciutat, quants habitants ha de tenir o quina densitat mínima requereix per ser considerada com a tal. També s'ha de tenir en compte la relació entre espais habitats i altres elements –jardins, carrers, espais verds– que també tenen la seva importància, no hem de considerar que la seva única funció és d'esbarjo. Hem de gestionar millor el consum d'energia, reduint l'ús de vehicles automòbils o minimitzant-ne a la mínima expressió les emissions, alhora que augmentem l'eficiència energètica en general, a nivell d'energia final (de consum), intermèdia (electricitat i combustibles) i primària. També potenciar l'ús d'energies renovables, principalment la solar, font inesgotable, potent i poc valorada ara com ara –tot i que el seu futur és esperançador–, perquè el sistema energètic actual no és sostenible i no sembla que hagi de variar a curt termini.

Les ciutats necessiten tenir un projecte per saber com poden transformar-se, alliberant-se de la dependència i la saturació de cotxes cap a formes més ecològiques de transport. El món en procés d'urbanització ha de coexistir amb el món natural perquè ambdós puguin sobreviure. És evident ja l'amenaça que suposa malmetre irreversiblement els ecosistemes. Sorprenentment potser, el creixement urbà ens està conduint a redescobrir la natura i els serveis vitals que ens proporciona.

En quant a la Petjada Ecològica com a mètode d'anàlisi, ha de seguir millorant, ampliant el seu abast i fent més específics els seus càlculs, s'ha d'estandarditzar el procediment de càlcul per a regions menors que les nacions, i potser fer-ne un model exclusiu per a les ciutats.

No podem assegurar, ara com ara, que el procés en curs d'abandonament de les zones rurals i massificació de les urbanes sigui "bo" o "dolent" per al futur del planeta. El que sí podem afirmar és que no és un procés tan catastròfic com molta gent creu i que és més important la seva gestió que no la seva simple presència o mida.

L'augment de la densitat urbana podria ser una solució enlloc d'un problema, sempre i quan vingui recolzada per les mesures de gestió adequades.

BIBLIOGRAFIA

- Bono, L., Castri, R., Tarzia, V., 2006. "The Urban Ecosystem Europe Report". Ambiente Italia – Research Institute (<http://www.ambienteitalia.it>).
- Borja, J., Nel·lo, O., Vallès, J.M^a., 1998. "La ciutat del futur, el futur de les ciutats". Fundació Rafael Campalans, Barcelona.
- Box, G.E., Hunter, W., Hunter, J.S., 1999. "Estadística para investigadores. Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos". Reverté (ed.), México.
- Camagni, R., Gibelli, M.C., Rigamonti, P., 2002. "Urban Mobility and urban forms: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion". Ecological Economics 40/2, 199–216.
- Chambers, N., Child, R., Jenkin, N. (ed.), 2005. "Ecological Footprint Analysis and Sustainability Assessment". ([http:// www.bestfootforward.com](http://www.bestfootforward.com)).
- Chambers, N., Simmons, C., Wackernagel, M., 2000. "Sharing Nature's Interest. Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability". Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA.
- Doms, F.P., 1989. "Initiation a la statistique". De Sikkel (ed.). Anvers, La Belgique.
- EEA, 2006. "Urban Sprawl in Europe. The ignored Challenge". European Environment Agency (EEA) Report, 10/2006, Copenhagen.
- European Commission, 2001a. "European Common Indicators. Towards a Local Sustainability Profile". Ambiente Italia, European Commision (<http://europa.eu.int>).
- European Commission, 2001b. "European Common Indicators. Towards a Local Sustainability Profile. Methodology Sheets". European Commision (<http://europa.eu.int>).
- Ferrer, M., Peláez, A., 1997 (2^a ed.). "Población, Ecología y Medio Ambiente". Universidad de Navarra (ed.), Barañáin, Navarra.

- Fischer, S., Dornbusch, R., Schmalensee, R., 1998 (2a ed). "Economia". McGraw-Hill (ed.), Madrid.
- Gibbs, D., 1997. "Urban sustainability and economic development in the United Kingdom: exploring the contradictions". *Cities*, Vol. 14, No. 4, 203–208.
- Global Footprint Network, 2006. "Ecological Footprint and Biocapacity. Technical Notes: 2006 edition". Global Footprint Network (<http://www.footprintnetwork.org>).
- Global Footprint Network, 2006. "Ecological Footprint Standards. 2006". Global Footprint Network Standards Committees (<http://www.footprintstandards.org>).
- Hahn, E., 1994. "La reestructuración urbana ecológica". Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, CyTET II, 100–101, pp. 369–388.
- Hails, C., Loh, J., Goldfinger, S., 2006. "Living Planet Report 2006". World Wide Fund For Nature, Gland, Switzerland.
- Haughton, G., 1998. "Searching for the Sustainable City: Competing Philosophical Rationales and Processes of 'Ideological Capture' in Adelaide, South Australia". *Urban Studies*, Vol.36, No. 11, 1891–1906.
- Larivière, I., Lafrance, G., 1999. "Modelling the electricity consumption of cities: effect of urban density". *Energy Economics* 21, 53–66.
- Moffatt, I., Simmons, C., Lewis, K., Barrett, J., *et al.*, 2000. Commentaries. Forum: The Ecological Footprint. *Ecological Economics* 32, 357 – 394.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., Deumling, D., 2004. "Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments". *Land Use Policy* 21, 231–246.
- Muñiz, I., Galindo, A., 2005. "Urban form and the ecological footprint of commuting. The case of Barcelona". *Ecological Economics* 55, 499–514.
- Naredo, J.M., 1994. "El funcionamiento de las ciudades y su incidencia en el territorio". Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, CyTET II, 100–101, pp. 233–249.

- OECD/IEA, 2006. "Energy Prices & Taxes. Quarterly Statistics. Fourth Quarter". International Energy Agency, Paris.
- Puig, J., Corominas, J., 1990. "La ruta de la energía". Anthropos (ed.), Barcelona.
- Rees, W., 1992. "Ecological Footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out". Environment and Urbanization, Vol. 4, No. 2, 121–130.
- Rees, W., 1999. "The Built Environment and the Ecosphere: A Global Perspective". Building Research and Information 27, 4/5, 206–220.
- Rees, W., Wackernagel, M., 1996. "Urban Ecological Footprints: Why cities cannot be sustainable – and why they are a key to sustainability". Environment Impact Assessment Review 16, 225 – 248.
- Roseland, M., 1997. "Dimensions of the eco-city". *Cities*, Vol. 14, No. 4, 197–202.
- Rueda, S., 1997. "Metabolismo y complejidad del sistema urbano a la luz de la ecología". (<http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a008.html>)
- Satterthwaite, D., 1997. "Sustainable Cities or Cities that Contribute to Sustainable Development?". Urban Studies, Vol.34, No. 10, 1667–1691.
- Sauvy, A., 1991. "La population". Presses Universitaires de France (ed.), Paris.
- The Climate Group, 2005. "Carbon Down, Profits Up. Second Edition 2005". The Climate Group, UK (<http://www.theclimategroup.org>).
- The Climate Group, 2005. "Low Carbon Leader: Cities Oct. 2005". The Climate Group, UK (<http://www.theclimategroup.org>).
- UNU/IAS Report, 2003. "Urban Ecosystem Analysis. Identifying Tools and Methods". United Nations University, Institute of Advanced Studies (<http://www.ias.unu.edu>).
- Venetoulis, J., Chazan, D., Gaudet, C., 2005. "Ecological Footprint of Nations. 2004". Sustainability Indicators Program. Redefining Progress (<http://www.redefinigprogress.org>).

- Venetoulis, J., Talberth, J., 2005. "Ecological Footprint of Nations. 2005 update". Sustainability Indicators Program. Redefining Progress (<http://www.redefiningprogress.org>).
- Wackernagel, M., 1996. "¿Ciudades Sostenibles?". Ecología Política 12, 43–50.
- World Bank, 2004. "World Development Report 2005. A Better Investment Climate for Everyone". A copublication of the World Bank and Oxford University Press (<http://www.worldbank.org>).
- Zwingle, E., 2002. "Ciudades". Revista Oficial de National Geographic Society, Vol. 11, No. 6.
- Starke, L. (ed.), 2007. "La situación del Mundo 2007. Nuestro futuro urbano". Informe Anual del Worldwatch Institute sobre el Progreso hacia una Sociedad Sostenible.
- Rousseau, J. J., 1997. "Discurso sobre el origen de la desigualdad entre los hombres". Fondo de Cultura Económica, México.
- Mayor, X., Quintana, V., Belmonte, R., 2005. "Aproximació a la Petjada Ecològica de Catalunya". Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), Generalitat de Catalunya.

Adreces d'Internet:

- <http://www.iclei.org> (local governments for sustainability)
- <http://www.theclimategroup.org>
- <http://www.footprintnetwork.org>
- <http://www.ecologicalfootprint.org>
- <http://www.redefiningprogress.org>
- <http://www.bestfootforward.com>
- <http://www.panda.org>
- <http://www.gdrc.org> (Global Development Research Center)
- <http://www.unfpa.org> (United Nations Population Fund)

<http://europa.eu.int>

<http://www.worldbank.org> (World Development Report 2005)

<http://www.legambiente.com>

<http://www.osservatorioambienteitalia.it>

<http://www.eea.europa.eu> (European Environment Agency)

<http://www.un.org/esa> (United Nations – Economic and Social Development)

<http://www.demographia.com> (World Urban Areas)

<http://www.eukn.org> (European Urban Knowledge Network)

<http://www.sei.se/> (Stockholm Environment Institute)

<http://www.stepsforward.org.uk>

Annex I

Llistat de països del món, per ordre alfabètic, amb la seva Petjada Ecològica l'any 2003.

| Pais | PE (2003) |
|------------------------|------------------|
| Afganistan | 0,1 |
| Albània | 1,4 |
| Alemanya | 4,5 |
| Algèria | 1,6 |
| Angola | 1 |
| Aràbia Saudita | 4,6 |
| Argentina | 2,3 |
| Armènia | 1,1 |
| Austràlia | 6,6 |
| Àustria | 4,9 |
| Azerbaidjan | 1,7 |
| Bangla Desh | 0,5 |
| Bèlgica/Luxemburg | 5,6 |
| Benin | 0,8 |
| Bielorússia | 3,3 |
| Bolivia | 1,3 |
| Bòsnia i Herzegovina | 2,3 |
| Botswana | 1,6 |
| Brasil | 2,1 |
| Bulgària | 3,1 |
| Burkina Faso | 1 |
| Burundi | 0,7 |
| Cambodja | 0,7 |
| Camerun | 0,8 |
| Canadà | 7,6 |
| Colòmbia | 1,3 |
| Costa d'Ivori | 0,7 |
| Costa Rica | 2 |
| Croàcia | 2,9 |
| Cuba | 1,5 |
| Dinamarca | 5,8 |
| Ecuador | 1,5 |
| Egipte | 1,4 |
| El Salvador | 1,4 |
| Emirats Àrabs Units | 11,9 |
| Eritrea | 0,7 |
| Eslovàquia | 3,2 |
| Eslovènia | 3,4 |
| Espanya | 5,4 |
| Estats Units d'Amèrica | 9,6 |
| Estònia | 6,5 |
| Etiòpia | 0,8 |
| Federació Russa | 4,4 |
| Filipines | 1,1 |

| | |
|---------------|------------|
| Finlàndia | 7,6 |
| França | 5,6 |
| Gabon | 1,4 |
| Gàmbia | 1,4 |
| Geòrgia | 0,8 |
| Ghana | 1 |
| Grècia | 5 |
| Guatemala | 1,3 |
| Guinea | 0,9 |
| Guinea Bissau | 0,7 |
| Haití | 0,6 |
| Hondures | 1,3 |
| Hongria | 3,5 |
| Iemen | 0,8 |
| Índia | 0,8 |
| Indonèsia | 1,1 |
| Iran | 2,4 |
| Iraq | 0,9 |
| Irlanda | 5 |
| Israel | 4,6 |
| Itàlia | 4,2 |
| Jamaica | 1,7 |
| Japó | 4,4 |
| Jordània | 1,8 |
| Kazakhstan | 4 |
| Kenya | 0,8 |
| Kirguizistan | 1,3 |
| Kuwait | 7,3 |
| Laos | 0,9 |
| Lesotho | 0,8 |
| Letònia | 2,6 |
| Líban | 2,9 |
| Libèria | 0,7 |
| Líbia | 3,4 |
| Lituània | 4,4 |
| Macedònia | 2,3 |
| Madagascar | 0,7 |
| Malàisia | 2,2 |
| Malawi | 0,6 |
| Mali | 0,8 |
| Marroc | 0,9 |
| Maurici | 1,9 |
| Mauritània | 1,3 |
| Mèxic | 2,6 |
| Moçambic | 0,6 |
| MÓN | 2,2 |
| Mongòlia | 3,1 |
| Myanmar | 0,9 |
| Namíbia | 1,1 |
| Nepal | 0,7 |
| Nicaragua | 1,2 |
| Níger | 1,1 |
| Nigèria | 1,2 |
| Noruega | 5,8 |

| | |
|-------------------------|-----|
| Nova Zelanda | 5,9 |
| Països Baixos | 4,4 |
| Pakistan | 0,6 |
| Panamà | 1,9 |
| Papua Nova Guinea | 2,4 |
| Paraguai | 1,6 |
| Perú | 0,9 |
| Polònia | 3,3 |
| Portugal | 4,2 |
| Regne Unit | 5,6 |
| Rep. Centreafricana | 0,9 |
| Rep. Congo | 0,6 |
| Rep. Corea | 4,1 |
| Rep. de Moldàvia | 1,3 |
| Rep. Dem. Congo | 0,6 |
| Rep. Dem. Pop. de Corea | 1,4 |
| Rep. Dominicana | 1,6 |
| Rep. Txeca | 4,9 |
| Romania | 2,4 |
| Rwanda | 0,7 |
| Senegal | 1,2 |
| Sèrbia i Montenegro | 2,3 |
| Sierra Leone | 0,7 |
| Síria | 1,7 |
| Somàlia | 0,4 |
| Sri Lanka | 1 |
| Sud-àfrica | 2,3 |
| Sudan | 1 |
| Suècia | 6,1 |
| Suïssa | 5,1 |
| Swazilandia | 1,1 |
| Tadjikistan | 0,6 |
| Tailàndia | 1,4 |
| Tanzània | 0,7 |
| Togo | 0,9 |
| Trinitat i Tobago | 3,1 |
| Tunísia | 1,5 |
| Turkmenistan | 3,5 |
| Turquia | 2,1 |
| Txad | 1 |
| Ucraïna | 3,2 |
| Uganda | 1,1 |
| Uruguai | 1,9 |
| Uzbekistan | 1,8 |
| Veneçuela | 2,2 |
| Viet Nam | 0,9 |
| Xile | 2,3 |
| Xina | 1,6 |
| Zàmbia | 0,6 |
| Zimbabwe | 0,9 |

Annex II

Classificació dels països en funció de si són de clima fred (1) o no (0), enlloc de la classificació per latituds utilitzada.

| Variable | 1 |
|--------------------------|-------------------------------|
| C | -1.366 (-1.68) |
| LOG(DENS_CIUTATS) | -0.300 (-4.38) |
| LOG(POBURB_97) | 0.223 (2.17) |
| LOG(PIB_1997) | 0.429 (7.81) |
| LOG(CLIMA_FRED) | 0.147 (1.15) |
| R² | 0.842 |

Utilitzant aquest sistema, en l'anàlisi de regressió resultant el factor CLIMA_FRED té aproximadament el mateix valor (0,147, enfront de 0,108 de la LATITUD), però no té una distribució *t*-Student representativa (1,15 < 2, mentre que per la LATITUD era de 2,73).